

Estudio y aplicación del Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP) en un buque tipo

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Trabajo realizado por:

Xavier Bauzá Sosa

Dirigido por:

Santiago Ordás Jiménez

Grau en Enginyeria de Sistemes i Tecnologia Naval

Barcelona, Juny 2018



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona



ÍNDICE.

LISTADO DE FIGURAS.	7
LISTADO DE TABLAS.	8
LISTADOS DE ACRÓNIMOS.	9
ABSTRACT.	12
RESUMEN (ABSTRACT).	14
1. INTRODUCCIÓN.	16
2. ESTADO DEL ARTE.	18
2.1. SISTEMA CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL.	19
2.1.1. EMISIONES DE GHG (Green House Gas) Y SU IMPACTO.	19
2.2. EL PAPEL DE LOS ORGANISMOS INTERNACIONALES.	20
2.3. CONTROL SOBRE LAS EMISIONES DE GHG EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO INTERNACIONAL.	22
2.3.1. ESTUDIOS DE LA OMI SOBRE LAS EMISIONES DE GHG.	23
3. MARCO NORMATIVO DE REFERENCIA.	32
3.1. ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL (OMI).	32
3.1.1. ESTRUCTURA DE LA OMI.	32
3.1.2. CONVENIOS DE LA OMI RELATIVOS A LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MARINA.	35
3.2. CONVENIO MARPOL.	36
3.2.1. ESTRUCTURA.	37
4. ANEXO VI MARPOL.	39
4.1. CAPÍTULO 4 DEL ANNEXO VI DEL MARPOL.	42
4.1.1. CAMBIOS EN LAS REGULACIONES EXISTENTES DEL ANEXO VI MARPOL.	43
5. ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE PROYECTO (EEDI).	49
5.1. CÁLCULO DEL EEDI.	49
5.2. TÉRMINOS DE INFLUENCIA EN EL CÁLCULO DEL EEDI.	51
5.3. CONDICIONES PARA EL CÁLCULO DEL EEDI.	54

5.4. VERIFICACIÓN DEL EEDI.....	54
5.4.1. VERIFICACIÓN PREVIA.....	55
5.4.2. VERIFICACIÓN FINAL.....	56
6. PLAN DE GESTIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL BUQUE	
(SEEMP).	58
6.1. PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SEEMP.....	59
6.1.1. PLANIFICACIÓN.....	59
6.1.2. IMPLEMENTACIÓN.....	61
6.1.3. SUPERVISIÓN.....	62
6.1.4. AUTOEVALUACIÓN.....	63
6.2. FORMATO DEL DOCUMENTO SEEMP.....	63
7. INDICADOR OPERACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (EEOI).	65
7.1. OBJETIVOS DEL EEOI.....	65
7.2. CÁLCULO DEL EEOI.....	66
7.3. PAUTAS A SEGUIR PARA EL CÁLCULO DEL EEOI.....	69
8. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A BORDO DEL BUQUE.....	70
8.1 OPTIMIZACIÓN DEL TRIMADO.....	70
8.1.1 LA INFLUENCIA DEL TRIMADO.....	71
8.1.2. TRIMADO DE OPERACIÓN.....	72
8.2 GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE (BWM).	73
8.2.1 MÉTODOS PARA EL INTERCAMBIO DE AGUA DE LASTRE.....	73
8.3 OPTIMIZACIÓN DEL CASCO Y DE LA HÉLICE.	74
8.3.1 RESISTENCIA DEL BUQUE Y RUGOSIDAD DEL CASCO.....	74
8.3.2 RUGOSIDAD DE LA HÉLICE.....	76
8.4. GESTIÓN DE LA CARGA DE LOS MOTORES DEL BUQUE.	76
8.4.1. GESTIÓN DE CARGA PARA EL MOTOR PRINCIPAL.....	76
8.4.2. GESTIÓN DE CARGA PARA MOTORES AUXILIARES.....	77
8.4.3. REDUCCIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA.....	77
8.5. GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE.	78
8.5.1. INTRODUCCIÓN DE ADITIVOS EN EL COMBUSTIBLE.....	79
8.5.2. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	79
8.6. CALDERAS Y SISTEMAS DE VAPOR.....	80
8.6.1. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CALDERA.....	80

8.7. OTRAS MEDIDAS.....	81
8.7.1. DISPOSITIVOS INTALADOS DELANTE DEL PROPULSOR.....	82
8.7.2. DISPOSITIVOS INSTALADOS DETRÁS DE LA HÉLICE.....	84
8.7.3. OPTIMIZACIÓN DE LA PROA DEL CASCO DEL BUQUE.....	86
8.7.4. RECUPERACIÓN DEL CALOR RESIDUAL.	87
9. APLICACIÓN DEL SEEMP.	88
10. COSTE DE REALIZACIÓN DEL SEEMP.....	114
11. CONCLUSIÓN.	116
12. BIBLIOGRAFÍA	119

LISTADO DE FIGURAS.

<i>Figura 1. Emisión de GHG de un buque</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2. Comparativa de los rangos de eficiencia energética</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3. Emisiones de CO2 según el tipo de buque (2012)</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4. Configuración de la estructura de la OMI.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5. Nuevas regulaciones incluidas en el Anexo VI.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 6. Fórmula del EEDI en bloques</i>	<i>50</i>
<i>Figura 7. Resumen conceptual de los factores que influyen el cálculo del EEDI en un buque</i>	<i>51</i>
<i>Figura 8. Descripción detallada de cada una de las partes del ciclo</i>	<i>59</i>
<i>Figura 9. Plantilla del SEEMP</i>	<i>63</i>
<i>Figura 10. División de las mejoras de la eficiencia energética.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 11. Trimado de un buque</i>	<i>71</i>
<i>Figura 12. Método de flujo continuo para agua de lastre</i>	<i>74</i>
<i>Figura 13. Mewis Doct.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 14. Wake-Equalizing Duct.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 15. Pre-Swirl Stator</i>	<i>84</i>
<i>Figura 16. PBCF.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 17. Hélice y timón como unidad</i>	<i>85</i>
<i>Figura 18. Función del bulbo</i>	<i>86</i>
<i>Figura 19. Esquema de recuperación del calor residual</i>	<i>87</i>

LISTADO DE TABLAS.

<i>Tabla 1. Resumen de las emisiones de GHG en el 2007</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 2. Aumento de las emisiones de GHG 1990-2007.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 3. Estimación de la reducción de las emisiones anuales</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4. Evaluación de posibles reducciones de CO2 mediante el uso de la tecnología</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5. Emisiones de CO2 estimadas 2007-2012.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 6. Parámetros para la determinación del EEDI de referencia</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 7. Hoja de informe para la recopilación de datos para el cálculo del EEOI</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 8. Valor del factor de conversión según el tipo de combustible utilizado</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 9. Optimización general del trimado.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 10. CF según el tipo de combustible.....</i>	<i>112</i>

LISTADOS DE ACRÓNIMOS.

OMI	Organización Marítima Internacional.
EEDI	Índice de eficiencia energética de diseño.
EEOI	Indicador operacional de la eficiencia energética.
EE	Eficiencia energética.
SEEMP	Plan de gestión de la eficiencia energética .
SNV	Seguimiento, notificación y verificación .
MARPOL	Contaminación Marítima (Marine Pollution).
IDEA	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
UNCTAD	Conferencia de Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.
ANAVE	Asociación de Navieros Españoles.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.
ICCT	Consejo Internacional sobre Transporte Limpio.
GNL	Gas natural licuado.
MEPC	Comité de protección del medio ambiente marítimo.
CF	Factor de conversión adimensional entre el consumo de combustible y las emisiones de CO ₂ .
Vref	Velocidad del buque.
P	Potencia de los motores principales y auxiliares.
PME	Potencia de los motores principales.
PPTO	Generador acoplado al eje.

PPTI	Motor acoplado al eje.
Pe _{ff}	Potencia de las tecnologías innovadoras de eficiencia de la energía mecánica.
PAE _{eff}	Reducción de la potencia de los motores auxiliar.
PAE	Potencia de los motores auxiliares.
SFC	Consumo de combustible específico.
F _j	Factor de corrección para los elementos de proyecto específicos del buque.
f _{jro}	Buques de carga rodada y buques de pasaje de transbordo rodado.
f _w	Factor meteorológico.
f _{eff(i)}	Factor de disponibilidad de una tecnología innovadora de eficiencia energética.
f _i	Factor de capacidad.
f _c	Factor de corrección de la capacidad cúbica.
f _{cRoPax}	Buques de pasaje de transporte sobre rudas.
L _{pp}	Eslora entre perpendiculares.
f _l	Factor para los buques de carga general equipados con grúas.
d _s	Calado en la línea de carga de verano.

B	Manga.
g	Aceleración de la gravedad.
Vref	Velocidad del buque, medida en millas marinas por hora (nudos).

ABSTRACT.

Objective.

The objective of this academic work is the study and application of the Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) in a chosen vessel (*Magleby Maersk*), to obtain a reduction in CO₂ emissions into the atmosphere.

Materials and methods.

A thorough analysis of the IMO studies and regulations has been carried out to help with the design and study of the SEEMP, providing all the necessary information to be able to carry out an energy efficiency management plan as easily as possible and to be able to observe the economic and environmental benefits that its implementation in boats can imply.

Results.

Due to the great growth of transport by ships, the consumption of energy consumed by ships has increased, as well as the emission of greenhouse gases into the atmosphere. Through the SEEMP, is possible to reduce CO₂ emissions and the company also achieves a considerable economic saving.

In the implementation of the SEEMP on the vessel *Magleby Maersk*, the following results have been obtained:

- With optimization of trim: Economic saving of the company of up to **87.373 \$/trip.**
- With optimization of Water Ballast: Economic savings of the company of up to **46.599 \$/trip**
- With optimization of hull and propeller : Economic savings of up to **565.012 \$/trip.**
- Through implementation of Mewis Doct: Economic savings of up to **93.198 \$/trip.**
- Through implementation of Propeller Boss Cap Fin: Economic savings of up to **23.300 \$/trip.**

In addition, by calculating the EEOI, the amount of CO₂ emitted by the Magleby Maersk was obtained per tonne of fuel and nautical mile sailed ($6'48 * 10^{-5} \text{ T (CO}_2\text{) / (TEU * mn)}$). By reducing the fuel consumption by the measures studied in the SEEMP of the Magleby Maersk, the CO₂ emissions in the atmosphere decrease.

Conclusions

The SEEMP is a management tool that establishes a mechanism for vessel operators to improve the energy efficiency of a vessel during its operation life cycle. Its disposition contributes to the decrease of the ship's fuel consumption and, therefore, to the emission of CO₂. It can suppose a great economic saving for the owner of the ship.

RESUMEN (ABSTRACT).

Objetivo.

El objetivo principal de este trabajo es el estudio y aplicación del Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP) en un buque tipo escogido, para obtener una mejora en la reducción de emisiones contaminantes del buque tipo en la atmósfera, centrándonos sobre todo en las emisiones de CO₂.

Materiales y métodos.

Se ha realizado un análisis exhaustivo de los estudios y normativas de la OMI para ayudar con el diseño y estudio del SEEMP, aportando toda la información necesaria para poder llevar a cabo un Plan de Gestión de Eficiencia Energética con la mayor facilidad y simplicidad posible y poder observar los beneficios económicos y ambientales que puede suponer su implementación en embarcaciones.

Resultados.

El transporte marítimo, si se compara con otros medios de transporte, es el método más competente y eficaz de llevar a cabo envíos y era considerado uno de los transportes más ecológicos y ambientales del momento. Debido a un gran crecimiento del transporte mediante buques se ha incrementado el consumo de energía consumida por los buques, aumentando así de forma considerable las emisiones de GHG a la atmósfera. Mediante el SEEMP se ofrecen unas medidas para la reducción de emisiones de CO₂ y además la compañía consigue un ahorro económico bastante considerable.

En la implementación del SEEMP en el buque Magleby Maersk se han obtenido los siguientes resultados:

- Mediante optimización de trimado: Ahorro económico de la compañía de hasta **87.373 \$/trayecto**.

- Mediante la gestión de agua de lastre: Ahorro económico de la compañía de hasta **46.599 \$/trayecto**.
- Mediante optimización del casco y de la hélice: Ahorro económico de hasta **565.012 \$/trayecto**.
- Mediante implementación de Mewis Doct: Ahorro económico de hasta **93.198 \$/trayecto**.
- Mediante implementación de Propeller Boss Cap Fin: Ahorro económico de hasta **23.300 \$/trayecto**.

Además, mediante el cálculo del EEOI, se ha obtenido la cantidad de CO₂ emitidas por el Magleby Maersk por tonelada de combustible y milla náutica navegada ($6'48 \cdot 10^{-5} \text{ T(CO}_2\text{)}/(\text{TEU} \cdot \text{mn})$). Al reducir el consumo de combustible mediante las medidas estudiadas en el SEEMP del Magleby Maersk, las emisiones de CO₂ en la atmósfera disminuyen.

Conclusiones.

El SEEMP es una herramienta de gestión que establece un mecanismo para que los operadores de buques mejoren la eficiencia energética de un buque durante su ciclo de vida de operación. Su implementación contribuye a la disminución del consumo de combustible del buque y, por lo tanto, de la emisión de CO₂, y puede suponer un gran ahorro económico para el propietario o armador del buque.

1. INTRODUCCIÓN.

Con el diseño y estudio del Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP), se pretende aportar toda la información necesaria para poder llevar a cabo un Plan de Gestión de Eficiencia Energética con la mayor facilidad y simplicidad posible y poder observar los beneficios económicos y ambientales que puede suponer su implementación en embarcaciones.

Durante las últimas décadas, la preocupación sobre el desprendimiento de emisiones contaminantes a la atmósfera ha ido incrementando. El aumento de elementos contaminantes en el aire ha supuesto un notable deterioro de la salud humana y ambiental. Por estas razones, se ha decidido imponer una serie de medidas, programas y restricciones para la reducción de emisiones:

- *The United Nations Environment Program (UNEP)* fue el primer programa en el cual se intentó coordinar de forma global la responsabilidad de establecer regulaciones ambientales para mejorar la calidad de vida.
- *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* fue respaldado por la ONU y su objetivo principal era construir una estructura internacionalmente reconocida capaz de monitorear y diagnosticar regularmente la evolución del sistema climático.
- *The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* se llevó a cabo en el 1994 con la finalidad de reducir las emisiones hasta un nivel inofensivo para evitar la perturbación del ecosistema.
- *The Kyoto protocol*, tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global.
- Finalmente la Organización Marítima Internacional (OMI) desarrolla el convenio MARPOL incluyendo el Anexo VI para la prevención de la contaminación del aire generada por los buques.

El trabajo se divide en dos partes fundamentales:

- Una primera en la cual se ha realizado una breve descripción del estado del arte: Descripción del SEEMP, la herramienta creada por la OMI para la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera, una recopilación del marco normativo que la envuelve y un estudio de cómo se puede implementar en un buque tipo.
- Una segunda parte que se ha centrado en la aplicación práctica: se ha escogido un buque tipo, se ha analizado la viabilidad del SEEMP en distintas situaciones y se ha implementado el SEEMP en el buque.

2. ESTADO DEL ARTE.

La preocupación sobre el desprendimiento de emisiones contaminantes en la atmósfera ha ido aumentando. Este aumento ha provocado un deterioro de la salud humana y ambiental bastante notable.

Los elementos como el oxígeno, el nitrógeno y otros componentes vaporosos (variedades de gases, vapores y aerosoles) se encuentran en suspensión en la atmósfera y son los principales causantes de dicho deterioro. Estos elementos son desprendidos a causa de procesos naturales como puede ser la erupción de un volcán o un incendio forestal, o a diversas actividades humanas como las labores industriales.

El incremento del desprendimiento de emisiones contaminantes en la atmósfera ha sido causado principalmente por dos acontecimientos que dieron un giro en la forma de vida: la urbanización y la industrialización.

Antes de la urbanización la contaminación provocada por el hombre era mucho más reducida y distribuida a lo largo de todo el territorio. El desarrollo de la agricultura permitió un gran crecimiento de la población y diversificación laboral. No obstante, las ciudades fueron desarrollándose convirtiéndose en centros de interés gracias al comercio y a la producción, hecho que atrajo a grandes poblaciones en áreas limitadas.

En el siglo XIX, la mayoría de energía que se utilizaba provenía de la madera como fuente principal de combustible y de fuentes de energía renovables como presas, molinos o norias. Debido a la Revolución Industrial y a la entrada de maquinaria en la industria esos recursos no fueron suficientes. Con el descubrimiento de los combustibles fósiles, las industrias dejaron de lado las energías renovables y la madera. El carbón fue uno de los detonantes de la revolución industrial en el siglo XIX y fue seguido por el petróleo y el gas natural en el siglo XX que se utilizarían hasta el día de hoy.

Las emisiones de gases contaminantes producidos por la combustión de recursos fósiles provocarán alteraciones en el sistema climático afectando notablemente a la salud humana y ambiental [1]

2.1. SISTEMA CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL.

El sistema climático se define como un sistema complejo basado en la interacción y retroacción entre los diversos subsistemas que forman el planeta tierra. Estos subsistemas interactúan y se relacionan entre sí, de forma muy compleja, influenciando el sistema climático de manera que si uno de los subsistemas se viera afectado el sistema climático se vería repercutido. La variación de las propiedades atmosféricas pueden afectar directamente a los subsistemas y por retroacción verse nuevamente afectada la atmósfera.

Un claro ejemplo sería el calentamiento global que provoca un gran impacto ambiental lo que le da una gran importancia y urgencia al control del cambio climático [2][3]

2.1.1. EMISIONES DE GHG (Green House Gas) Y SU IMPACTO.

Las emisiones de GHG actúan como una capa protectora para la Tierra, calentando el planeta. La presencia de estas emisiones en la estratosfera es muy importante ya que en cierto modo hacen de reguladores y evitan que la superficie terrestre se encuentre demasiado fría.

Los GHG, llamados comúnmente como gases de efecto invernadero, se encuentran de forma natural y habitual en la atmósfera llegando a representar un 1% de los gases que la componen. Cuando el porcentaje de GHG en la atmósfera es elevado la temperatura en las capas atmosféricas más próximas a la Tierra se ve repercutida de forma directa. Por lo tanto, se intenta buscar un equilibrio para evitar que la Tierra se enfríe o se caliente en exceso.

Los principales gases que contribuyen al calentamiento del planeta son el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, halo-carbonos (CFCs, HCFCs...) y otros gases como el ozono y el vapor de agua.

El calentamiento global y las sustancias atmosféricas absorbidas por los océanos afectan notablemente su estado. Una de las principales consecuencias del calentamiento global en los océanos es el aumento del nivel del mar que ocasiona la aceleración de erosiones y daños en los ecosistemas

costaneros. Por otra parte, el exceso de dióxido de carbono combinado con otros gases atmosféricos da lugar a la acidificación de los océanos perjudicando la capacidad de muchos organismos para hacer frente a las propiedades cambiantes de los océanos. [2][3]



Figura 1. Emisión de GHG de un buque

Fuente: “Barcos, yates y veleros”, Revista náutica

2.2. EL PAPEL DE LOS ORGANISMOS INTERNACIONALES.

A medida que avanza los años, se va tomando conciencia del grave problema que supone la no regulación de la emisión de sustancias nocivas en la atmósfera. Para combatir la contaminación y dosificar el porcentaje de gases de efecto invernadero en la atmósfera se decide imponer una serie de medidas, programas, restricciones y limitaciones.

The United Nations Environment Program (UNEP) fue el primer programa mediante el cual se intentó coordinar de forma global la responsabilidad de

establecer regulaciones ambientales para mejorar la calidad de vida. El programa incluía una serie de actividades para la conservación de la atmósfera, de los ecosistemas marinos y terrestres y del medio ambiente basándose principalmente en un desarrollo sostenible [4]

Haciendo referencia al cambio climático, UNEP da soporte a todos los países, en particular a naciones que quieren modificar su política, para que colaboren en la obtención de una solución para el cambio climático. Para ello, UNEP lleva a cabo cuatro funciones fundamentales para conseguir su objetivo:

- Adapta al cambio climático reduciendo la vulnerabilidad.
- Respalda la tecnología e inversiones para la reducción de emisiones de GHG, así como los programas de conservación y eficiencia energética.
- Incita a la reducción de emisiones por deforestación y degradación de los bosques.
- Apoya los programas de educación, sensibilización y concienciación sobre el tema.

El *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), respaldado por la ONU en el 1988, tiene como objetivo construir una estructura internacionalmente reconocida capaz de monitorear y diagnosticar regularmente la evolución del sistema climático.

El propósito del IPCC es proporcionar una visión científica clara sobre el cambio climático y sus posibles consecuencias ambientales y socioeconómicas, así como proponer medidas de control y soluciones. El IPCC es, por lo tanto, la máxima autoridad experta en cuestiones ambientales, en particular las relacionadas con el cambio climático. El IPCC reúne los datos publicados en todo el mundo y produce informes de evaluaciones sobre la situación del cambio climático. Para ello tiene a su disposición a miles de científicos que proporcionan datos precisos, rigurosos y confiables.

The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) se llevó a cabo en el 1994 con la finalidad de reducir las emisiones hasta un nivel inofensivo para evitar la perturbación del ecosistema. El UNFCCC intenta promover la cooperación, mediante investigación y tecnología, y adoptar unas

medidas legales contra actividades que puedan conllevar efectos adversos. Por esta razón, el UNFCCC, sirve de referencia a otros protocolos contra el cambio climático como por ejemplo el Protocolo de Kyoto.

The Kyoto protocol tiene por objetivo reducir las emisiones de los seis gases de efecto invernadero principales, causantes del calentamiento global. El protocolo de Kyoto contiene los objetivos que deben alcanzar los distintos países para la limitación o reducción de las emisiones. Para alcanzar sus objetivos, los países pueden reducir sus emisiones o compensar sus emisiones invirtiendo en sumideros de carbono que generan unidades de eliminación.

La *Organización Marítima Internacional* (OMI) se da cuenta del impacto que provoca el transporte marítimo sobre el cambio climático. Por eso decide definir unos marcos reguladores con la finalidad de abordar el problema. Las reglamentaciones internacionales relacionadas con el mar para abordar las consecuencias de las emisiones al aire se pueden encontrar en el UNCLOS y en las reglamentaciones MARPOL.

La OMI desarrolla el convenio MARPOL, incluyendo el Anexo VI para la prevención de la contaminación del aire generada por los buques [5][6]

2.3. CONTROL SOBRE LAS EMISIONES DE GHG EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO INTERNACIONAL.

Uno de los factores más importantes para el desarrollo de la economía de un país es el comercio internacional. Aproximadamente el 90% del comercio mundial es transportado mediante buques. Para que el comercio pueda prosperar y crecer, es necesario un conjunto de importaciones y exportaciones, las cuales se llevan a cabo mediante el transporte marítimo.

Durante los últimos años el comercio marítimo internacional se ha ido expandiendo, dando tanto a consumidores como a productores la oportunidad de obtener una serie de beneficios a causa de los costes competitivos impuestos por la industria naviera (actualmente se dispone de más de 50.000 buques mercantes).

2.3.1. ESTUDIOS DE LA OMI SOBRE LAS EMISIONES DE GHG.

En el 1997, la OMI, decide tomar una serie de medidas y reglamentaciones para la reducción de GHG. Desde el 1997 hasta el día de hoy, la OMI ha desarrollado tres estudios sobre las emisiones de GHG producidas concretamente por el transporte marítimo internacional.

2.3.1.1. ESTUDIO DEL 2000.

El primer estudio sobre las emisiones de GHG se llevó a cabo en el año 2000. Este primer estudio sirvió como paso inicial para la implementación de una nueva normativa reguladora en el transporte marítimo. Para poder desarrollar el estudio, la OMI utilizó datos del 1996 sobre distintos buques y llegó a la conclusión de que los buques emitían un total de 420 millones de toneladas de CO2 cada año.

2.3.1.2. ESTUDIO DEL 2009.

Unos años más tarde, concretamente en el 2007 se encargó un segundo estudio que se daría por finalizado en el 2009. En este estudio se actualizaron las cifras de emisiones de GHG durante los envíos marítimos y se evaluó la implementación, tanto de nuevas tecnologías como de medidas de eficiencia energética, en los buques para reducir el porcentaje de emisiones. Para ello, la OMI decide escribir un documento cuya intención es proporcionar información y datos reales basados en su investigación para ayudar a la industria marítima en la toma de decisiones regulatorias.

El documento está formado por nueve capítulos:

1. Resumen Ejecutivo.
2. Introducción al transporte marítimo y su marco legislativo.
3. Emisiones del transporte marítimo del 1990-2007.
4. Reducciones de las emisiones logradas mediante la aplicación del Anexo VI del MARPOL.
5. Potencial tecnológico y operacional para la reducción de emisiones.

6. Opciones de política para la reducción de GHG y otras sustancias relevantes.
7. Escenarios de emisiones futuras del transporte marítimo internacional.
8. Impacto climático.
9. Comparación de las emisiones de CO₂ de los buques con emisiones de otros modos de transporte.

A continuación se detallan explícitamente cuatro de los capítulos más relevantes del documento:

Capítulo 3: Emisiones del transporte marítimo del 1990-2007.

En este capítulo se lleva a cabo un inventario sobre las emisiones de GHG, producidas por el transporte marítimo, más importantes y se realiza un estudio para cada uno de los gases, estableciendo los niveles de emisiones para cada uno de ellos. Entre los gases principales podemos encontrar el NO_x, SO₂, PM₁₀, CO, CO₂, N₂O, CH₄.

Una vez terminado el estudio, se afirma que las emisiones de GHG, derivadas del transporte marítimo, están dominadas por un alto nivel de CO₂. Por lo tanto, el CO₂ se establece como la principal preocupación de GHG para el transporte marítimo y deberá ser objeto de futuras reglamentaciones. Todas las demás emisiones de GHG por transporte marítimo internacional se consideran insignificantes y pasan a un segundo plano.

	International shipping (million tonnes)	Total shipping	
		million tonnes	CO ₂ equivalent
CO ₂	870	1050	1050
CH ₄	Not determined*	0.24	6
N ₂ O	0.02	0.03	9
HFC	Not determined*	0.0004	≤6

Tabla 1. Resumen de las emisiones de GHG en el 2007

Fuente: IMO Trainer Course – Module 1

También se demuestra que las emisiones de GHG casi se duplicaron durante el período del estudio (1990-2007):

	NO _x	SO _x	PM	CO	NMVOC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Increase from 1990 to 2007	78.6%	89.9%	80.0%	92.3%	100.0%	86.8%	100.0%	200.0%

Tabla 2. Aumento de las emisiones de GHG 1990-2007

Fuente: Fuente: IMO Trainer Course – Module 1

Capítulo 4: Reducciones de las emisiones logradas mediante la aplicación del Anexo VI del MARPOL.

En esta sección, la OMI evalúa la efectividad de las regulaciones o moderaciones que existían en el momento del estudio sobre las emisiones de GHG. Para evaluar la eficiencia de las regulaciones, se llevan a cabo unos cálculos en dos escenarios completamente distintos: se comprueban los niveles de GHG sin regulaciones y, posteriormente, los niveles de GHG según las regulaciones establecidas por el Anexo VI del MARPOL.

Eficiencia de la Regulación 12 (Capa de ozono): Se lleva a cabo un estudio sobre la reducción de emisiones degradantes de la capa de ozono demostrando una gran eficacia en la implementación del Anexo VI del MARPOL.

	1998 RTOC Total	2006 RTOC Total	Reduction
CFC	750	15	735 (98%)
HCFC-22	14,000	3,100	10,900 (78%)
HFC	100	415	-315 (-315%)

Tabla 3. Estimación de la reducción de las emisiones anuales

Fuente: IMO Trainer Course – Module 1

Eficiencia de la Regulación 13 (NO_x): Para desarrollar la investigación se tuvieron que evaluar los niveles de emisiones de NO_x antes y después del año 2000, ya que la emisión de NO_x depende principalmente del tipo de motor que disponga el buque, de las condiciones, de las configuraciones y sobretodo de la calidad del combustible. Todos estos factores complicaron de forma notable la investigación. Sin embargo, se consiguieron obtener unos resultados favorables con una reducción del 7% aproximadamente.

Eficiencia de la Regulación 14 (SO_x): Mediante las medidas impuestas por el Anexo VI del MARPOL, se consiguió reducir el porcentaje de azufre en el combustible de un 4,5% a un 3,5%. Para obtener un análisis más específico se comparó el Área de Control de Emisiones de SO_x con el total. En la siguiente tabla se demuestra la eficacia de la Regulación 14.

Eficiencia de la Regulación 15 (VOCS): El estudio concluye que el reglamento que aborda la cuestión parece haberse implementado correctamente en los buques tanque pero no en las terminales costeras.

Resumiendo, los análisis realizados sobre la eficacia de cada una de las regulaciones, impuestas por el Anexo VI del MARPOL, sobre la reducción de NO_x, SO_x, VOCS y sustancias nocivas para la capa de ozono fue favorable, dando total validez y concordancia a las regulaciones impuestas.

Capítulo 5: Potencial tecnológico y operacional para la reducción de emisiones.

En este capítulo, se sugiere una serie de técnicas operativas y tecnológicas con la finalidad de reducir las emisiones de CO₂ durante el transporte marítimo. Estas sugerencias más tarde derivarían en la imposición de unas regulaciones de eficiencia energética en los buques.

Las técnicas operativas y tecnológicas que sugiere la OMI para la reducción de emisiones de CO₂ son:

- Mejora de la eficiencia energética operativa: Es la solución principal y el objetivo más fácil de lograr para reducir las emisiones de CO₂.
- Uso de fuentes de energía renovable como tecnologías alternativas; uso de GNL como combustible alternativo: Además de ser métodos para reducir las emisiones de CO₂, son dos alternativas potenciales para lograr una reducción bastante significativa de NO_x, PM y SO_x.

En la tabla que se adjunta a continuación se destaca las principales medidas para mejorar la eficiencia energética operativa y su impacto en la reducción de emisiones de CO₂.

	Saving of CO ₂ /tonne-mile	Combined	Combined
DESIGN (New ships)			
Concept, speed and capability	2% to 50% [†]		
Hull and superstructure	2% to 20%		
Power and propulsion systems	5% to 15%	10% to 50% ⁺	
Low-carbon fuels	5% to 15% [*]		
Renewable energy	1% to 10%		25% to 75% ⁺
Exhaust gas CO ₂ reduction	0%		
OPERATION (All ships)			
Fleet management, logistics & incentives	5% to 50% ⁺		
Voyage optimization	1% to 10%	10% to 50% ⁺	
Energy management	1% to 10%		

Tabla 4. Evaluación de posibles reducciones de CO₂ mediante el uso de la tecnología

Fuente: IMO Trainer Course – Module 1

Capítulo 9: Comparación de las emisiones de CO₂ de los buques con emisiones de otros modos de transporte.

En esta parte del estudio, se analiza la eficiencia energética, basándose en la eficiencia de emisión de CO₂ de diversos medios de transporte y comparándolos entre ellos.

A pesar de las variaciones en las evaluaciones de emisiones, se calculan y se miden los rangos de eficiencia energética para mar, carretera, ferrocarril y aire.

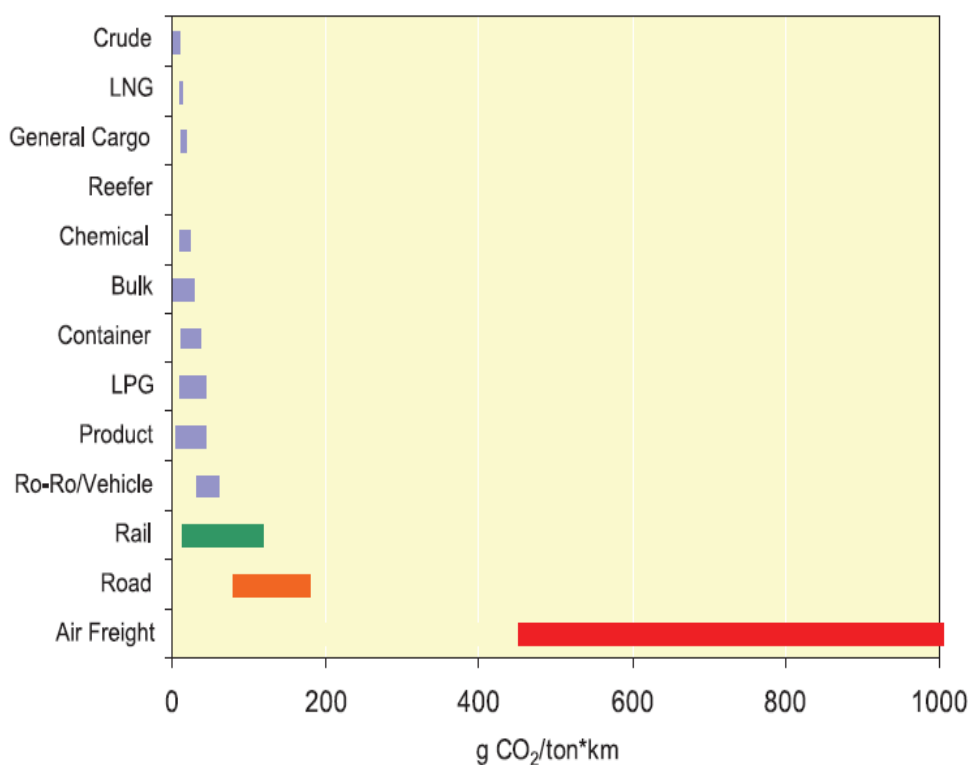


Figura 2. Comparativa de los rangos de eficiencia energética

Fuente: IMO Trainer Course – Module 1

De la comparativa realizada se obtiene una conclusión clara; la eficiencia energética de los otros sectores es significativamente menor a la del sector marítimo.

Las medidas técnicas y operativas son el principal potencial para la reducción de emisiones contaminantes y CO₂. Si se implementan estas medidas, se

podría aumentar la eficiencia energética en los buques y reducir la tasa de emisiones entre un 25% y un 75% por debajo de los niveles actuales. Finalmente, se demuestra que el transporte marítimo es uno de los medios más eficientes en comparación con otros modos de transporte [7]

2.3.1.3. ESTUDIO DEL 2014.

Debido a un conjunto de incertidumbres en las estimaciones y previsiones desarrolladas en el *Estudio del 2009*, se acuerda la realización de un trabajo adicional para proporcionar nueva información más fiable y, sobretodo, actualizada. Para ello, se decide encargar el *Estudio del 2014*.

Para poder obtener un análisis mucho más concreto y actual, se calcula el volumen de actividad relacionada con el transporte marítimo, el consumo medio de combustible y las emisiones de GHG para cada uno de los buques en servicio utilizando información satelital detallada.

Para la estimación de emisiones de GHG, se utilizaron datos satelitales ofrecidos durante el período 2007-2012.

Con el desarrollo de esta nueva metodología, se consiguen obtener unas nuevas estimaciones de emisiones de CO₂, durante el período 2007-2012, que indican una reducción general de las emisiones de CO₂.

Year	Global CO ₂ ¹	IMO GHG Study 2014 CO ₂			
		Total shipping	Percent of global	International shipping	Percent of global
2007	31,409	1,100	3.5%	885	2.8%
2008	32,204	1,135	3.5%	921	2.9%
2009	32,047	978	3.1%	855	2.7%
2010	33,612	915	2.7%	771	2.3%
2011	34,723	1,022	2.9%	850	2.4%
2012	35,640	938	2.6%	796	2.2%
Average	33,273	1,015	3.1%	846	2.6%

Tabla 5. Emisiones de CO₂ estimadas 2007-2012

Fuente: IMO Trainer Course – Module 1

El estudio permite obtener una estimación detallada de la cantidad de emisiones de CO₂ desprendidas por cada tipo de buque.

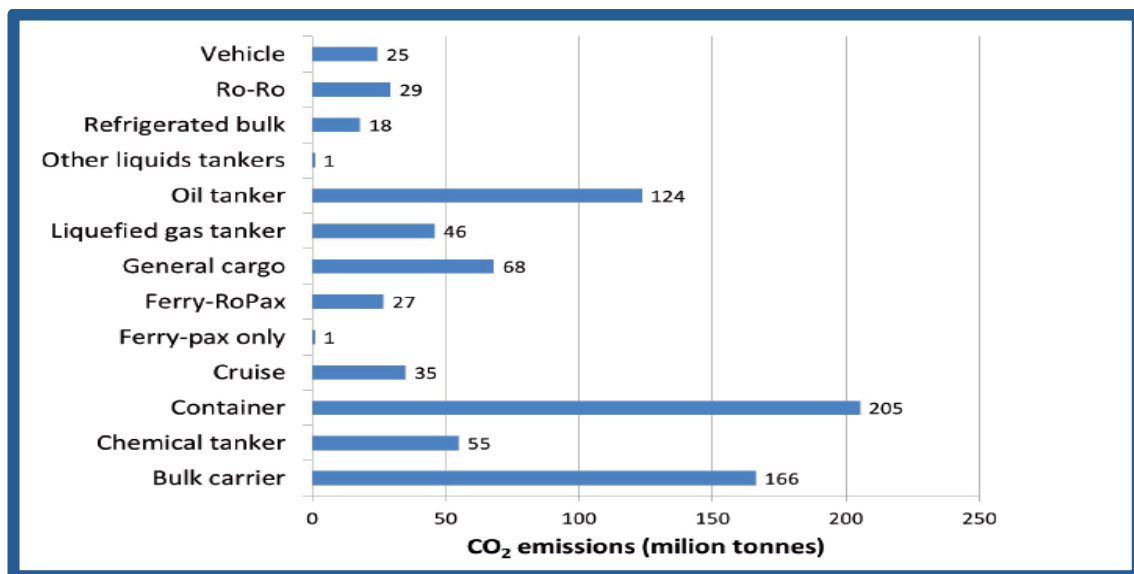


Figura 3. Emisiones de CO₂ según el tipo de buque (2012)

Fuente: IMO Trainer Course – Module 1

Como se puede observar en la *Figura 3*, los buques portacontenedores, graneleros y petroleros dominan las emisiones de CO₂ del transporte marítimo internacional.

Como parte del estudio, se utiliza la proyección de escenarios para estimar los niveles de las emisiones de CO₂ del transporte marítimo internacional. Se proyectan una gran cantidad de escenarios (en total 16) entre los cuales podemos encontrar:

- Absorción de GNL bajo y alto como combustible marino.
- ECA constantes y más ECA futuras.
- Alta eficiencia de transporte y baja eficiencia de transporte.
- Diversos RCP (Rutas de concentración representativas) para la futura demanda de envío basada en la demanda de productos básicos.
- Varios SSP (Caminos Socioeconómicos Compartidos) que denotan actividades económicas y crecimiento económico futuro.

A partir de la proyección de estos escenarios, se estima que las emisiones de CO₂ aumenten entre un 50% y un 250% hasta el 2050, a pesar de que la eficiencia promedio de la flota mejora un 40% aproximadamente. Por lo tanto, queda claro que es necesario la implementación de medidas adicionales sobre eficiencia y sobretodo sobre emisiones, para estabilizar o reducir las emisiones de GHG [8].

3. MARCO NORMATIVO DE REFERENCIA.

3.1. ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL (OMI).

El transporte marítimo internacional se rige por un conjunto de marcos regulatorios y legales internacionales. Estos marcos regulatorios surgen debido a la comprensión del impacto del transporte marítimo sobre el cambio climático. Las reglamentaciones internacionales relacionadas con el mar, para abordar las consecuencias de las emisiones al aire, se pueden encontrar en la UNCLOS y en las reglamentaciones MARPOL de la OMI.

3.1.1. ESTRUCTURA DE LA OMI.

En 1948, se creó un organismo de la ONU a cargo de asuntos marítimos. La Organización Marítima Internacional (OMI) adquirió su nombre final en 1982. Actualmente, la OMI está formada por un Consejo, unos Comités, una Asamblea y una Secretaría.

Para obtener una visión clara y generalizada se adjunta la *Figura 4*, donde se resume la conformación de la OMI en general y la configuración de la Secretaría.

La OMI respalda aplicar legislaciones prácticas más rigurosas y mantener un vínculo mucho más cercano con otros órganos de las Naciones Unidas, para obtener una mayor eficiencia ambiental. Para ello, la OMI, proporciona herramientas y políticas de gobierno aunque los Estados y sus gobiernos son los encargados de su implementación y cumplimiento. Resumiendo, la OMI es la encargada de adoptar la legislación y los gobiernos de cada Estado del cumplimiento de la normativa reguladora.

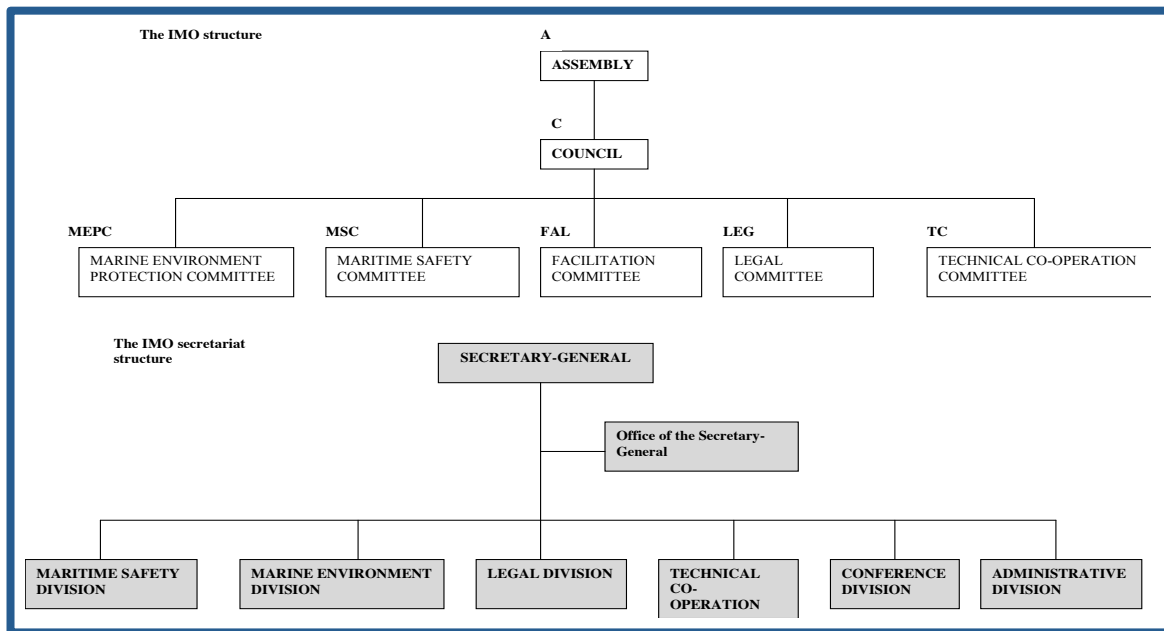


Figura 4. Configuración de la estructura de la OMI

Fuente: IMO Trainer Course – Module 1

3.1.1.1. COMITÉ DE PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE MARÍTIMO (MEPC).

El Comité de protección del medio ambiente marítimo (MEPC) es el comité de la OMI encargado de afrontar los problemas ambientales de la OMI. El MEPC establece grupos de trabajo que se ocupan de los problemas que puedan surgir. A la vez, el MEPC y los grupos de trabajo, cuentan con el apoyo de la Secretaría de la OMI que se ocupa de todos los aspectos administrativos relacionados.

El MEPC se reúne tres veces durante dos años. En estas reuniones se emiten circulares y resoluciones, así como proyectos de resolución, que pueden ser adoptados por la Asamblea. Aunque en las reuniones puedan participar todos los Estados representados por la OMI y las Organizaciones No Gubernamentales (ONG) para debatir diversas cuestiones relacionadas con la prevención de la contaminación, estas no podrán interferir a la hora de llevar a cabo votaciones sobre las distintas decisiones que se deban tomar.

A continuación se resumen algunas de las sesiones más significativas del MEPC, con sus diversas resoluciones y proyectos adoptados por la Asamblea.

MEPC 59.

En Julio del 2009, el MEPC se reúne para acordar un plan de medidas operacionales y técnicas para reducir los niveles de emisiones de GHG causados por el transporte marítimo internacional. Este plan, recoge un conjunto de medidas que posteriormente derivarán en la implementación de nuevos sistemas para la mejora de la eficiencia energética en los buques; medidas técnicas para nuevas embarcaciones (EEDI) y medidas operacionales para todas las embarcaciones que se encuentren en operación (SEEMP, EEOI).

MEPC 60.

Durante la sesión llevada a cabo a inicios del 2010, el MEPC desarrolla el primer borrador reglamentario que abarca los requisitos indispensables para la elaboración e implementación del EEDI, en buques nuevos, y del SEEMP, en todas las embarcaciones en operación (tanto el EEDI como el SEEMP fueron medidas de carácter voluntario recomendadas, es decir, no era obligatoria su disposición).

MEPC 61.

A finales del 2010 se decide programar otra sesión en la cual se discute y se valora la obligación de disponer del EEDI y del SEEMP para todos los buques. Este hecho causó una gran disconformidad por parte de algunos Estados que lo consideraban inapropiado.

MEPC 62.

Después de unas largas deliberaciones, en julio del 2011, el MEPC decide agregar un nuevo capítulo al Anexo VI del MARPOL incluyendo el EEDI y el SEEMP. Como consecuencia la implementación del EEDI y del SEEMP se volvió obligatoria.

MEPC 63.

En el 2012 el MEPC adopta en esta sesión una importante serie de directrices para apoyar la aplicación uniforme de medidas obligatorias para la eficiencia energética de los buques (EEDI y SEEMP).

Posteriormente se han llevado a cabo más sesiones del MEPC (MEPC 64, MEPC 65, MEPC 66, MEPC 67 y MEPC 68) , en las cuales se siguen debatiendo y ampliando las regulaciones y el marco normativo necesario para el desarrollo y la posterior aplicación del EEDI y del SEEMP respectivamente [9].

3.1.2. CONVENIOS DE LA OMI RELATIVOS A LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN MARINA.

La División de Medio Ambiente Marino de la OMI apoya al MEPC y se ocupa diariamente de los problemas ambientales pertinentes, pero sobre todo apoya el funcionamiento de MEPC. En la actualidad, las reglamentaciones de la OMI abarcan todos los riesgos de contaminación del barco. Para ello, la OMI dispone de unos convenios específicos que ayudan a cubrir y reducir la contaminación producida por el transporte marítimo.

MARPOL Convention.

El convenio MARPOL es uno de los más relevantes. Este convenio se ocupa principalmente de diversos tipos de contaminación aunque centraremos la atención en el Anexo VI, en el cual se hace hincapié en la contaminación provocada por el entorno marítimo y sus posibles métodos de reducción (para más detalles, ver la *Sección 3.2*).

Anti-Fouling System Convention.

Convenio de la OMI sobre el sistema de anti-incrustaciones, que entra en vigor en el 2008, el cual prohíbe el uso de compuestos organoestánicos nocivos en las pinturas anti-incrustantes utilizadas en los buques y establece un mecanismo para prevenir el posible uso futuro de otras sustancias nocivas en

los sistemas anti-incrustantes. Se pueden encontrar los sistemas anti-incrustantes que deben prohibirse o controlarse en el mismo convenio.

Ballast Water Management Convention.

También titulado “Convenio Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos”, entra en vigor el año 2004 con la finalidad de evitar la propagación de organismos acuáticos nocivos de una región a otra, mediante el establecimiento de normas y procedimientos para la gestión y el control del agua de lastre y los sedimentos de los buques.

Hong Kong Convention.

En el año 2009, se propone el Convenio de Hong Kong conocido como “Convenio Internacional para el Reciclaje de Barcos Seguros y Ambientalmente Adecuados”. El objetivo principal de este convenio es garantizar que los buques que sean reciclados después de su vida útil, no supongan ningún peligro para la integridad física de las personas ni para el medio ambiente.

London Convention.

El London Convention entró en vigor en el 1975. También titulado “Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias”, intenta promover el control efectivo de todas las fuentes de recursos contra la contaminación marítima y tomar todas las medidas posibles para evitar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias. [10]

3.2. CONVENIO MARPOL.

El Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación por los Buques (MARPOL) fue creado el 2 de noviembre de 1973 por la OMI y rectificado posteriormente por su Protocolo en 1978. Finalmente fue aprobado y entró en vigor el 2 de octubre de 1983. El Convenio MARPOL es el principal convenio internacional que abarca y restringe la contaminación del medio marino generada por las embarcaciones. El Convenio incluye reglamentos destinados a prevenir y reducir al mínimo la contaminación causada por los

buques, tanto la contaminación accidental como la de las operaciones rutinarias e incluye seis Anexos.

3.2.1. ESTRUCTURA.

El Convenio MARPOL incluye seis Anexos donde se resumen la normativa para prevenir y reducir la contaminación generada por los buques.

Anexo I.

En este apartado se incluye el reglamento para la prevención de contaminación por petróleo a partir de una serie de medidas operacionales. Una de las restricciones del Anexo I es la de que todo petrolero debe disponer de un doble casco. También se intenta incorporar de forma progresiva esta restricción en buques tanques ya existentes con la capacidad suficiente para la integración del doble casco.

Anexo II.

El Anexo II recoge la normativa reguladora para el control de la contaminación por sustancias nocivas líquidas a granel. Para elaborar esta normativa, se evaluaron unos 250 sustancias que se adjuntaron en forma de lista en el Convenio. Para que los buques puedan descargar los residuos, estos se deben someter a análisis y deben ser depositados en instalaciones de recepción.

Anexo III.

En esta sección se incluye un conjunto de medidas para la prevención de la contaminación por sustancias nocivas transportadas en bulto. Para ello se dispone de una normativa generalizada sobre cómo llevar a cabo distintas tareas: embalaje, marcado, etiquetado, documentación, estiba, limitaciones cuantitativas, excepciones y notificaciones.

Anexo IV.

El Anexo IV recoge un conjunto de requisitos para evitar la contaminación por aguas residuales procedentes de los buques. Entre los requisitos podemos destacar:

- La prohibición de la descarga de aguas residuales en el mar.
- La planta de tratamiento de aguas residuales aprobada.

Anexo V.

En este apartado se resumen los distintos tipos de basura y el tratamiento necesario para su eliminación. El Anexo V destaca la total prohibición de la eliminación de residuos plásticos en el mar.

Anexo VI.

Se establecen límites a las emisiones de sustancias nocivas (SO_x, NO_x), producidas por los escapes de los buques, y se prohíben las emisiones deliberadas de sustancias que perjudican la capa de ozono.

También se incluyen medidas obligatorias de eficiencia energética, técnica y operativa destinadas a reducir las emisiones de GHG de los buques.

Cada uno de los Estados que forman parte del Convenio MARPOL, debe comprobar el total cumplimiento del Anexo I y Anexo II. La aplicación de los Anexos restantes (III,IV,V,VI) es totalmente voluntaria [11].

4. ANEXO VI MARPOL.

El Anexo VI abarca los contaminantes del aire y las emisiones de GHG combinadas. Las reglamentaciones incluyen también elementos como combustible de búnker, incineradores, áreas de control de emisiones, sustancias que agotan el ozono, etc.

El Anexo VI es la última parte añadida al Convenio MARPOL que entró en vigor en 2005. Posteriormente se realizaron modificaciones en el Anexo VI sobre el Código Técnico de NOx y se añadió un nuevo capítulo (Capítulo 4) sobre regulaciones en los buques para obtener una mayor eficiencia energética.

El Anexo VI del MARPOL se comprime en cuatro capítulos en los que se encuentran sus respectivas regulaciones:

Capítulo 1- General.

Se introduce algunos de los principios básicos del convenio e incluye algunas definiciones generales que se especifican a continuación:

Regulación 1: Especifica el dominio de aplicación del Anexo VI del MARPOL.

Regulación 2: Proporciona las definiciones de términos que tienen significado regulatorio.

Regulación 3: Describe en que circunstancias un buque o plataforma marítima podrían estar exentos de cumplir el Anexo VI del MARPOL.

Regulación 4: Permite el uso de un método alternativo de cumplimiento y las condiciones bajo las cuales serán aceptables.

Capítulo 2- Inspección, certificación y medidas de control.

Describe los requisitos de inspección, certificación, control y la detección y aplicación de infracciones.

Regulación 5: Describe los requisitos necesarios para la inspección.

Regulación 6: Especifica las reglas para la emisión de certificados o formularios.

Regulación 7: Permite emitir certificados en nombre de terceros.

Regulación 8: Especifica la forma y estructura que deben tener los certificados.

Regulación 9: Especifica la duración y la validez de los certificados.

Regulación 10: Describe los aspectos de control del Estado del puerto y las normas pertinentes.

Regulación 11: Describe los aspectos específicos bajo los cuales un buque podría ser detenido.

Capítulo 3- Requisitos para el control de las emisiones generadas por los buques.

En este capítulo se detallan las medidas para hacer frente a diversos contaminantes atmosféricos y cuestiones relacionadas importantes como la gestión de combustible y el incinerador.

Regulación 12: Esta reglamentación prohíbe la liberación intencional de sustancias que agotan el ozono (SAO) y establece un calendario para la eliminación progresiva de dichas sustancias.

Regulación 13: Regula las emisiones de NOx generadas por los motores instalados en buques construidos después de 2000.

Tres niveles describen los límites de NOx que deben alcanzarse después de 2000, 2011 y 2016.

Además del Internacional Certificado de Prevención de la Contaminación del Aire (IAPP), el buque debe cumplir con el Código Técnico de NOx de 2008, tener un Certificado de Prevención de la Contaminación del Aire Internacional del Motor (EIAPP) y poseer el archivo técnico de NOx y un libro de registro de los parámetros del motor.

Regulación 14: Establece los contenidos máximos de azufre para los combustibles utilizados en buques (3.50% después de enero de 2012) y el concepto de área de control de emisiones SOx (SECA).

Regulación 15: La regulación enfatiza la necesidad de reducir las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) durante la carga en los puertos y terminales petroleros. Todos los petroleros que visitan puertos / terminales regulados, deben estar equipados con sistemas de recolección. Desde el 2010, los buques que transportan estos compuestos, deben implementar un plan de gestión de COV.

Regulación 16: Obliga a los incineradores a superar una inspección previa y cumplir con las normas de la OMI. En esta regulación se citan varias sustancias que están prohibidas para incinerar.

Regulación 18: El reglamento abarca la disponibilidad y la calidad del combustible, así como la supervisión de los proveedores, los aspectos del PSC, el muestreo del combustible y las retenciones de muestra o la nota de entrega del combustible.

Capítulo 4- Reglamento sobre la eficiencia energética del buque.

En este capítulo se especifican la normativa para regular la eficiencia energética de los buques. El Capítulo 4 fue el último en añadirse en el Anexo VI del MARPOL entrando en vigor en enero del 2013.(ver *sección 4.1*).

Regulación 19: Especifica el dominio de la aplicación y el alcance de las regulaciones del Capítulo 4.

Regulación 20: Especifica los requisitos necesarios para el desarrollo del Índice de Diseño de Eficiencia Energética alcanzado (EEDI obtenido), incluyendo los procesos de cálculo y los aspectos de verificación.

Regulación 21: Detalla el cálculo del EEDI requerido por el buque usando líneas de referencia y factores de reducción sin afectar a la maniobrabilidad del buque.

Regulación 22: Especifica el requisito de que los buques tengan un Plan de gestión de la eficiencia energética de los buques (SEEMP) a bordo y cómo debe desarrollarse el SEEMP.

Regulación 23: Destaca la importancia de mejorar la cooperación técnica y la transferencia de tecnología para apoyar las mejoras de eficiencia energética en la flota mundial, en particular para la beneficio de los países en desarrollo. [11]

4.1. CAPÍTULO 4 DEL ANNEXO VI DEL MARPOL.

El Capítulo 4 del Anexo VI de MARPOL introduce dos mecanismos obligatorios para la mejora de la eficiencia energética para los buques. El objetivo principal de estos mecanismos es el de reducir las emisiones de GHG del transporte marítimo internacional a través de la mejora del diseño y de las operaciones del buque. Estos mecanismos reguladores son:

- Índice de diseño de eficiencia energética (EEDI), para buques nuevos.
- Plan de gestión de la eficiencia energética de los buques (SEEMP) para todos los buques (según el GT).

El EEDI es un índice que indica la eficiencia energética de un barco calculada para una condición operacional de referencia específica del buque. La intención es que al imponer límites a este índice, la OMI pueda conseguir que las tecnologías de los barcos sean más eficientes con el tiempo. EEDI es, por lo tanto, un estándar técnico basado en objetivos que se aplica a barcos nuevos.

Los diseñadores y constructores de barcos son libres de elegir las tecnologías para satisfacer los requisitos de EEDI en un diseño de barco específico. Si los diseñadores y constructores consiguen reducir el nivel de EEDI, se obtendrán naves más eficientes energéticamente.

Por otro lado, el SEEMP es una herramienta de gestión que establece un mecanismo para que los operadores de buques mejoren la eficiencia energética de un buque durante su ciclo de vida de operación. Funciona de acuerdo con la planificación, implementación, monitoreo y revisión de una serie

de medidas de eficiencia energética dentro de un ciclo de gestión de mejora continua.

Además, la OMI ha adoptado un esquema voluntario para el cálculo del Indicador Operacional de Eficiencia Energética (EEOI) con el objetivo principal de su uso futuro como un indicador de monitoreo del desempeño en el transporte marítimo, muy probablemente en relación con el SEEMP [12].

4.1.1. CAMBIOS EN LAS REGULACIONES EXISTENTES DEL ANEXO VI MARPOL.

Como resultado del debate sobre la eficiencia energética en la OMI y los acuerdos subsiguientes, se agregó un nuevo Capítulo 4 al Anexo VI de MARPOL. A continuación se adjunta la *Figura 5* en la que se pueden observar las nuevas regulaciones (en color rojo) incluidas en el Anexo VI del MARPOL.

Resolution MEPC.176(58)	Resolution MEPC.203(62)
Chapter III Reg. 12 Ozone Depleting Substances Reg. 13 Nitrogen Oxides(NOx) Reg. 14 Sulphur Oxides(SOx) and Particular Matter Reg. 15 Volatile Organic Compounds (VOCs) Reg. 16 Shipboard Incineration Reg. 17 Reception Facilities Reg. 18 Fuel Oil Availability and Quality	Chapter III Reg. 12 Ozone Depleting Substances Reg. 13 Nitrogen Oxides(NOx) Reg. 14 Sulphur Oxides(SOx) and Particular Matter Reg. 15 Volatile Organic Compounds(VOCs) Reg. 16 Shipboard Incineration Reg. 17 Reception Facilities Reg. 18 Fuel Oil Availability and Quality
	Chapter IV Reg. 19 Application Reg. 20 Attained EEDI Reg. 21 Required EEDI Reg. 22 SEEMP Reg. 23 Promotion of technical co-operation and transfer of technology relating to the improvement of energy efficiency of ships
Appendix I ~VI	Appendix I ~VI Appendix VIII Form of International Energy Efficiency(IEE) Certificate

Figura 5. Nuevas regulaciones incluidas en el Anexo VI

Fuente: IMO Trainer Course – Module 2

En este apartado se llevará a cabo una descripción más detallada de cada una de las regulaciones incluidas en el Capítulo 4 del Anexo VI del MARPOL.

Regulación 19- Aplicación.

En esta regulación se especifica el dominio de aplicación y el alcance de las regulaciones del Capítulo 4. Según los criterios establecidos por la OMI, el Capítulo 4 del Anexo VI del MARPOL debe ser aplicado de arqueo bruto igual o superior a 400 que desempeñan su función en aguas internacionales.

Por otra parte, la regulación 19 otorga un poder limitado a las administraciones para no exigir los requisitos del EEDI para las embarcaciones de nueva construcción hasta el 1 de julio de 2019.

Regulación 20- EEDI Obtenido.

Especifica la necesidad de calcular y verificar el EEDI Obtenido. El EEDI debe calcularse en el caso de que el buque sea de nueva construcción, cuando el buque se somete a variaciones que implican el cambio de dimensiones o en buques que sufran tantos cambios que la Administración los considere como buques nuevos.

El cálculo del EEDI Obtenido no se aplica a todos los buques (por ejemplo en los buques de pesca) y debe calcularse teniendo en cuenta las directrices impartidas por la OMI. También debe ir acompañado de un *Archivo Técnico de EEDI* en el que se detalle en proceso de cálculo por el cual se ha obtenido el EEDI que posteriormente debe ser verificado por la Administración o cualquier organismo autorizado.

Como se ha indicado anteriormente, algunos tipos de buques no forman parte de las reglamentaciones EEDI. A continuación se especifican los tipos de embarcaciones a las que se le requiere el cumplimiento de los requisitos EEDI:

- Bulk carrier.
- Gaseros.
- Tanker.
- Portacontenedores.

- Buque de carga general.
- Buque de carga refrigerado.
- Portador combinado.
- Buques de carga Ro-Ro (portaaviones)
- Buques de carga Ro-Ro.
- Barco de pasajeros Ro-Ro.
- Transportador de GNL.
- Cruceros de pasajeros (con propulsión no convencional).

Regulación 21- EEDI Requerido.

Este reglamento especifica la metodología para el cálculo del EEDI Requerido y todos los detalles relevantes. El EEDI Requerido es el límite reglamentario para EEDI y su cálculo implica el uso de líneas de referencia y factores de reducción.

En la regulación 21, se incluyen una serie de conceptos básicos necesarios para la aplicación y el cálculo del EEDI requerido:

- Línea de referencia: Se aplica un EEDI de referencia para cada tipo de barco, representando el EEDI de referencia en función del tamaño del buque.

Las líneas de referencia se producen a través del análisis de regresión de una gran cantidad de datos y la ecuación de regresión resultante se muestra en forma de diagrama. Estas ecuaciones de regresión se incorporan luego en la Regulación 21 en la forma de una fórmula:

$$\text{EEDI de referencia} = a \cdot b^{-c}$$

Los parámetros “a”, “b” y “c” según el tipo de buque se pueden obtener de la siguiente tabla:

Ship type defined in regulation 2		a	b	c
2.25	Bulk carrier	961.79	DWT of the ship	0.477
2.26	Gas carrier	1120.00	DWT of the ship	0.456
2.27	Tanker	1218.80	DWT of the ship	0.488
2.28	Container ship	174.22	DWT of the ship	0.201
2.29	General cargo ship	107.48	DWT of the ship	0.216
2.30	Refrigerated cargo carrier	227.01	DWT of the ship	0.244
2.31	Combination carrier	1219.00	DWT of the ship	0.488

2.33	Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)	$(DWT/GT)^{0.7} \cdot 780.36$ where $DWT/GT < 0.3$	DWT of the ship	0.471
		1812.63 where $DWT/GT \geq 0.3$		
2.34	Ro-ro cargo ship	1405.15	DWT of the ship	0.498
2.35	Ro-ro passenger ship	752.16	DWT of the ship	0.381
2.38	LNG carrier	2253.7	DWT of the ship	0.474
2.39	Cruise passenger ship having non-conventional propulsion	170.84	GT of the ship	0.214

Tabla 6. Parámetros para la determinación del EEDI de referencia

Fuente: : IMO Trainer Course – Module 2

- Factor de reducción: representa el porcentaje de reducción de EEDI con respecto a la línea de referencia, según lo dispuesto por la regulación para los años futuros. Este factor se utiliza para ajustar las regulaciones EEDI en fases a lo largo del tiempo al aumentar su valor.
El valor del factor de reducción es decidido por la OMI y se registra en la Regulación 21.
- Niveles de corte: los buques de menor tamaño están excluidos de tener un EEDI requerido por razones técnicas. Por lo tanto, el texto reglamentario especifica los límites de tamaño. Este límite de tamaño se conoce como niveles de corte.
- Fases de implementación: el EEDI se implementará en fases. Actualmente, está en la fase 1 que se extiende desde el año 2015 hasta el 2019. La fase 2 se desarrollará entre el año 2020 y el 2024 y la fase 3 es del año 2025 en adelante.

Por otra parte, el reglamento incluye el proceso de cálculo necesario y detallado para obtener el EEDI Requerido:

El primer paso para obtener el cálculo del EEDI Requerido es calcular el EEDI de referencia.

$$\text{EEDI de referencia} = a \cdot b^{-c}$$

Donde:

- “a” y “c” son constantes agregadas para cada tipo de buque siguiendo las regulaciones.
- “b” es la capacidad del buque.

Seguidamente se calcula el factor de reducción (X) del buque. Para ello se desarrolla la siguiente fórmula.

$$\text{EEDI Requerido} = (1 - X/100) \cdot (\text{EEDI de referencia})$$

Dónde:

- “X” es el factor de reducción acordado e incluido en el reglamento mediante una tabla que relaciona cada tipo de buque con su tamaño (DWT).
- “EEDI requerido” es el límite reglamentario del EEDI del barco, que el EEDI real no debe exceder.

Finalmente, la Regulación 22 (SEEMP) estipula que el EEDI Obtenido siempre debe ser menor o igual al EEDI Requerido:

$$\text{EEDI Obtenido} \leq \text{EEDI Requerido}$$

Si el diseño de un buque le permite clasificarse en más de una de las definiciones de tipo de barco anteriores, el EEDI requerido para el buque será el EEDI más estricto (el más bajo) requerido. Además, para cada buque al que se aplica la presente regla, la potencia de propulsión instalada no deberá ser inferior a la potencia de propulsión necesaria para mantener la maniobrabilidad del buque en condiciones adversas [25]

Regulación 22- Gestión del Plan de Eficiencia Energética del buque (SEEMP).

La Regulación 22 obliga a cada buque a mantener a bordo un plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP) que puede formar parte del sistema de gestión de seguridad (SMS) del buque. Además, el SEEMP se debe desarrollar teniendo en cuenta las directrices adoptadas por la OMI.

Los buques de más de 400 GT, que está involucrado en viajes internacionales, deben disponer de un SEEMP a bordo.

Regulación 23- Cooperación técnica y transferencia de tecnología.

Esta regulación se desarrolló a petición de los países en desarrollo después de un debate importante en el MEPC de la OMI sobre el papel de varios países en los esfuerzos de reducción de GHG, así como las dificultades tecnológicas y financieras que los países en desarrollo pueden enfrentar como resultado de las regulaciones de eficiencia energética.

En la Regulación 23 se especifica que las administraciones, en cooperación con la organización y otros organismos internacionales, deben proporcionar, según proceda, apoyo directo, especialmente a los Estados en desarrollo que soliciten asistencia técnica. Además, la administración de un país también debe cooperar activamente con otras organizaciones o administraciones, sujetas a sus leyes, reglamentos y políticas nacionales, para promover el desarrollo y la transferencia de tecnología y el intercambio de información a los estados que soliciten asistencia técnica, particularmente a los estados en desarrollo, con respecto a de la implementación de medidas para cumplir con los requisitos del capítulo 4 de este anexo [12].

5. ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE PROYECTO (EEDI).

El EEDI es un índice que indica la eficiencia energética de un barco calculada para una condición operacional de referencia específica del buque. La intención es que al imponer límites a este índice, la OMI pueda conseguir que las tecnologías de los barcos sean más eficientes con el tiempo. EEDI es, por lo tanto, un estándar técnico basado en objetivos que se aplica a buques de nueva construcción.

Se incluyen nuevas tecnologías para satisfacer los requisitos del EEDI. Si se consigue reducir el nivel de EEDI, se podrán obtener buques con mayor eficiencia energética [16][26].

5.1. CÁLCULO DEL EEDI.

El EEDI obtenido, explicado en apartados anteriores, es el valor real de EEDI para un barco y representa la cantidad de CO₂ generado por un barco mientras se realiza una tonelada-milla de trabajo de transporte.

Primeramente, se llega a la conclusión de que el EEDI representa la relación del "costo a la sociedad" de un barco en forma de sus emisiones de CO₂, dividido por su "beneficio para la sociedad" representado por el trabajo de transporte realizado por el buque, que puede resumir cómo:

Posteriormente, el concepto anterior se tradujo en un método de cálculo más complejo representado por la fórmula EEDI en la ecuación para tener en cuenta la diversidad de tipos de buques, tamaños de buques, tecnologías de propulsión alternativas, combustibles alternativos y futuras tecnologías renovables.

$$EEDI \left[\frac{gCO_2}{t \cdot NM} \right] = \frac{\left(\sum_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\left(\sum_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right)}{\left(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)} \cdot \frac{f_t \cdot f_c \cdot f_v \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}{f_t \cdot f_c \cdot f_v \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

Emisiones de motores auxiliares

Tecnologías implementadas para mejora de la eficiencia energética en generación eléctrica de auxiliares

Tecnologías implementadas para mejora de la eficiencia energética en la propulsión

Emisiones del motor principal

Valor del trabajo realizado

Figura 6. Fórmula del EEDI en bloques

Fuente: OMI MEPC 245 2014

Este método de cálculo tan específico, se ve influenciado por distintos factores tecnológicos que afectan de forma significativa el nivel del EEDI. Podemos destacar 5 factores fundamentales que hay que tener en cuenta a la hora de calcular el EEDI.

El primer factor a tener en cuenta, el cual se encuentra representado por el primer término en el numerador de la fórmula, es el motor principal y la energía que son necesarios para la propulsión del buque.

El segundo factor, representado por el segundo término en el numerador, es el de los requisitos de potencia auxiliar del buque.

El tercer término del numerador representa a cualquier dispositivo de generación de energía (eléctrico) innovador a bordo, así como a la electricidad de recuperación de calor residual o energía solar.

El último término del denominador hace referencia a las tecnologías innovadoras que proporcionan energía mecánica para la propulsión de buques, como la energía eólica (velas, cometas, etc.)

Por último y en el denominador de la fórmula, se representa la capacidad del buque y la velocidad del barco que, juntos, dan el valor del trabajo de transporte.

Factor de diseño que impacta en la capacidad del buque (f_i).

Son un conjunto de factores de corrección que se utilizan para diferenciar barcos del mismo tipo y tamaño si su capacidad de carga está influenciada por el diseño o el tipo de carga. Los factores de corrección relacionados con la capacidad son:

- Factor de capacidad de la clase de hielo f_i : es el factor utilizado para los buques de la clase de hielo.
- Mejora estructural voluntaria f_{VSE} : para un buque con mejora estructural voluntaria, el factor f_{VSE} debe calcularse de acuerdo con la formulación proporcionada en las directrices de la OMI.
- Reglas Estructurales Comunes f_{CSR} : para los graneleros y petroleros construidos de acuerdo con las Reglas Estructurales Comunes y asignados a la CSR de notación de clase, el factor f_{CSR} se calculará de acuerdo con la formulación proporcionada en las directrices de la OMI.

Factores de corrección relacionados con el diseño de embarcaciones que influyen en la potencia de propulsión (f_j).

Hay una serie de factores de corrección que se utilizan para diferenciar barcos del mismo tipo y tamaño si sus requisitos de diseño básico son diferentes. En los buques clasificados como clase hielo, en lanchas cisterna con redundancia de propulsión (80,000 ~ 160,000 DWT) o barcos Ro-Ro de cualquier tipo y en buques cargueros en general, el factor de corrección será distinto de 1.0 y se deberá calcular teniendo en cuenta las directrices pertinentes de la OMI [18].

Factor meteorológico (f_w).

Es un coeficiente no dimensional que indica la disminución de velocidad en condiciones marinas representativas de altura de ola, frecuencia de onda y velocidad del viento y se toma como 1.0 para el cálculo del EEDI alcanzado. Se están llevando a cabo investigaciones y pruebas para definir cómo se puede

estimar este factor para varios buques aunque por ahora no se han obtenido resultados favorables.

Velocidad de referencia (V_{ref}).

Es la velocidad del barco medida y verificada durante las pruebas en el mar y en distintas condiciones (operación en aguas profundas, con buen clima sin viento ni olas, con condiciones de carga reales y desarrollando una potencia de propulsión total del eje).

Potencia auxiliar eléctrica (PAE).

En estos casos, se aplica una formulación diferente para calcular la potencia auxiliar (eléctrica). PAE generalmente incluye la potencia consumida por las bombas principales del motor, los sistemas y equipos de navegación, así como el alojamiento, pero excluye otra potencia utilizada por los sistemas de propulsión, bombas de carga, equipo de carga, bombas de lastre, mantenimiento de la carga, etc. En las directrices de la OMI, existen fórmulas específicas para el cálculo de PAE. Cabe señalar que PAE no está vinculado a la potencia instalada real de los motores auxiliares de los buques.

Potencia mecánica de propulsión (PME).

La potencia para propulsión de eje (PME) , generalmente se calcula a partir del 75% del MCR (calificación continua máxima) del motor principal. Dependiendo de las diversas opciones de la línea de propulsión (generador de eje, motor de eje, potencia limitada, etc.) se utilizan diferentes fórmulas determinadas por las directrices de la OMI [18]

Capacidad.

La capacidad del buque es el peso muerto o el tonelaje bruto en función del calado de la línea de carga de verano. El cálculo del peso muerto se basa en el peso liviano de la nave y el desplazamiento en el calado de la línea de carga de verano. En la etapa de diseño, para la verificación preliminar de EEDI, el peso liviano y el desplazamiento pueden calcularse utilizando la documentación de estabilidad provisional del buque. Para los portacontenedores, la capacidad se toma como el 70% de la capacidad en el calado de la línea de carga de verano.

Factor de Carbono (CF).

Este factor especifica la cantidad de CO₂ generado por unidad de masa de combustible utilizado.. El tipo de combustible utilizado para la prueba de certificación de NO_x, se debe utilizar para determinar el valor del factor de conversión de CF.

Consumo de combustible específico (SFC).

El SFC representa la eficiencia de combustible (combustible utilizado) en g/kWh. El valor para SFC se determina a partir de los resultados registrados en el Archivo técnico de NO_x del motor. El SFC para el motor principal generalmente se mide al 75% de carga y para los motores auxiliares generalmente se mide al 50% de carga.

5.3. CONDICIONES PARA EL CÁLCULO DEL EEDI.

Para calcular EEDI, todas las medidas y datos utilizados deben corregirse a las condiciones que se citan a continuación:

- Calado: Calado medido según la carga.
- Capacidad: peso muerto (o tonelaje bruto para buques de pasaje) para el calado anterior.
- Condiciones climáticas: calma sin viento y sin olas.
- Potencia del eje de propulsión: 75% del MCR del motor principal con algunas modificaciones para el motor del eje o el generador del eje o las cajas de potencia.
- Velocidad de referencia (Vref): es la velocidad del barco medida o estimada bajo las condiciones anteriores.

5.4. VERIFICACIÓN DEL EEDI.

La verificación del EEDI es llevada a cabo por la administración, utilizando los datos y documentos correspondientes y observando las pruebas del tanque modelo del buque y las pruebas marítimas de puesta en marcha del buque. En

consecuencia, la verificación de EEDI se lleva a cabo en dos etapas: verificación previa y verificación final.

La verificación previa se realiza en la etapa de diseño del buque, mientras que la verificación final se lleva a cabo después de la construcción y como parte de las pruebas marítimas de puesta en marcha del buque. Los datos de diseño del buque pertinentes, los datos de prueba del tanque y los datos de prueba de velocidad estarán sujetos a escrutinio y verificación por las Sociedades de Clasificación. Las directrices de la OMI sobre verificación EEDI están desarrolladas para garantizar la coherencia de la verificación, aunque algunos aspectos importantes como los métodos de escalado de potencia de velocidad y el enfoque unificado para la corrección de los datos medidos aún deben armonizarse como parte de las prácticas industriales.

5.4.1. VERIFICACIÓN PREVIA.

Para la verificación preliminar en la etapa de diseño, se debe presentar un archivo técnico de EEDI que contiene la información necesaria. El archivo técnico de EEDI debe ser desarrollado por el diseñador del barco en esta etapa. El contenido de un Archivo técnico de EEDI debe incluir todos los datos requeridos para los cálculos de EEDI.

Además del archivo técnico de EEDI, el verificador puede solicitar información adicional como una descripción de la instalación de prueba de tanques (incluidos los equipos de prueba y las calibraciones), las líneas del modelo y el barco real para la verificación de la similitud del modelo y el barco real, la presentación de los datos de estabilidad del buque, el proceso de cálculo de la velocidad de referencia del barco, una copia del archivo técnico de NO_x y resumen documentado de la corrección SFC para cada tipo de motor, o otros datos específicos para buques específicos.

5.4.2. VERIFICACIÓN FINAL.

Las rutas marítimas y la verificación de la curva velocidad-potencia del barco son un elemento esencial de la verificación final. Como parte de la verificación final, se volverán a visitar y verificar todos los aspectos relevantes del cálculo de EEDI.

5.4.2.1. PRUEBAS DE MAR.

Como parte de la verificación de los senderos marítimos y antes de la prueba de mar, se deben presentar los siguientes documentos al verificador:

- Plan de prueba y procedimiento de prueba.
- La tabla de desplazamiento final y el peso ligero medido, o una copia del informe de la encuesta de peso muerto.
- Una copia del archivo técnico de NOx de los motores.

El procedimiento de prueba debe incluir, como mínimo, descripciones de todos los elementos necesarios para medir y los métodos de medición correspondientes. El verificador deberá asistir a la prueba marítima y revisar y verificar una serie de conceptos generales como el sistema de propulsión y sistema de suministro de energía, detalles de los motores, velocidad y potencia del buque, potencia del eje del motor principal y consumo de combustible específica (SFC) [23]

5.4.2.2. PRUEBA DE VELOCIDAD.

Como la mayoría de los barcos se prueban normalmente bajo condiciones de lastre, la prueba de velocidad según la condición EEDI debe desarrollarse a través de varias correcciones no solo para el mar y las condiciones climáticas, sino también extrapolando desde condición de lastre a condición de carga EEDI. El ajuste y la corrección de la velocidad de la condición de lastre a la condición EEDI juega un papel importante en una estimación precisa del EEDI.

Por otra parte, la V_{ref} se obtiene a partir de los resultados de las pruebas de mar, en condiciones de prueba, utilizando las curvas de velocidad-potencia predichas por las pruebas de tanque.

Para las condiciones de prueba, la relación de potencia α_P entre la predicción de la prueba modelo y el resultado de prueba en el mar se calcula para la velocidad constante de la nave. La velocidad del buque de la predicción de prueba modelo para la condición EEDI en potencia EEDI multiplicada por α_P es V_{ref} .

$$\alpha_P = \frac{P_{Trial,P}}{P_{Trial,S}}$$

Donde:

- $P_{Trial,P}$ es la condición de prueba de potencia establecida mediante por la prueba de tanques.
- $P_{Trial,S}$ es la condición de prueba de potencia obtenida de los ensayos de S/P.
- α_P Ratio de potencia.

El verificador debe verificar y comprobar que la corrección y la extrapolación de los datos a la condición EEDI debe ser verificada y comprobar se realice de forma correcta y precisa.

Además, para garantizar la coherencia y la precisión, se deben comparar las curvas de potencia obtenidas como resultado de la prueba de mar y las curvas de potencia estimadas en la etapa de diseño y en caso de diferencias, el EEDI obtenido debe ser recalculado [23].

6. PLAN DE GESTIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL BUQUE (SEEMP).

Según el Reglamento 22 del Anexo VI de MARPOL, que entró en vigor el 1 de enero del 2013, es obligatorio que los buques de más de 400 GT que operan a nivel internacional dispongan de un SEEMP a bordo. El SEEMP debe desarrollarse teniendo en cuenta las directrices pertinentes de la OMI. Los barcos existentes recibirán un Certificado IEE cuando se verifique la existencia de SEEMP a bordo.

De acuerdo con las directrices de la OMI, el SEEMP establece un mecanismo para que las compañías navieras mejoren la eficiencia de las operaciones de sus buques. El SEEMP también proporciona un enfoque para supervisar el rendimiento de eficiencia de un barco a lo largo del tiempo. El SEEMP insta al propietario y operador del buque a que, en cada etapa de la operación del buque, revisen y consideren las prácticas operativas y la actualización tecnológica para optimizar el rendimiento de la eficiencia energética del buque.

El propósito de un SEEMP es establecer un mecanismo para mejorar la eficiencia energética del buque durante su operación. El SEEMP debe ser específico para cada uno de los buques, ya que no hay dos compañías navieras o armadores que sean iguales, y los buques operan bajo una amplia gama de condiciones diferentes, incluidas geográficas y comerciales.

Muchas empresas normalmente tienen un sistema de gestión ambiental (EMS) establecido según ISO 140016 que contiene procedimientos para seleccionar las mejores medidas para embarcaciones particulares y luego establecer objetivos para la medición de parámetros relevantes, junto con características de control y retroalimentación relevantes. Además, muchas empresas ya desarrollan, implementan y mantienen un Sistema de Gestión de Seguridad. En tales casos, el SEEMP puede formar parte del sistema de gestión de seguridad del buque [15][27].

6.1. PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SEEMP.

El SEEMP busca mejorar la eficiencia energética de un barco a través de cuatro pasos fundamentales: planificación, implementación, supervisión y autoevaluación. Estas cuatro etapas forman parte de un ciclo de mejora continua y se puede comparar con el PDCA (Plan, Do, Check, Act) de cualquier otro sistema de gestión.

Los componentes de PDCA desempeñan un papel fundamental en el ciclo continuo para mejorar la gestión de la energía de los barcos. Con cada iteración del ciclo, algunos elementos del SEEMP necesariamente cambiarán, mientras que otros permanecerán como antes [15].

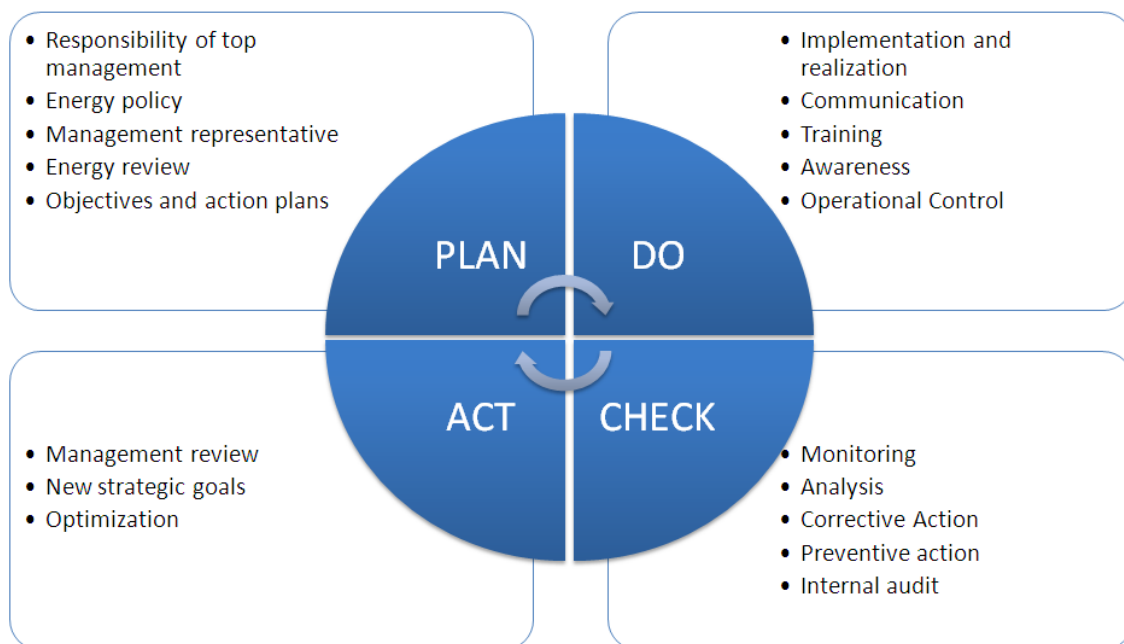


Figura 8. Descripción detallada de cada una de las partes del ciclo

Fuente: Wikimedia Commons

6.1.1. PLANIFICACIÓN.

La planificación es la etapa más importante para el desarrollo del SEEMP. Durante la planificación se plantean dos situaciones a examinar: el nivel actual de eficiencia energética del buque y las posibles mejoras a implementar.

En base a lo anterior y mediante el uso de revisiones o auditorías energéticas adicionales, se identifica y documenta un conjunto de Medidas de Eficiencia Energética (EEM) como parte de la fase de planificación. Las actividades de planificación de SEEMP no se detienen en la identificación de EEM, sino que incluyen el tratamiento de todos los aspectos de la planificación para la implementación, la supervisión y la autoevaluación de los EEM identificados.

Por lo tanto, la parte de planificación para el manejo de la energía del barco y el SEEMP es crucial y es esencial dedicarle suficiente tiempo [15].

6.1.1.1. IDENTIFICACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (EEM).

El primer paso en la planificación es identificar los EEM para mejorar la eficiencia energética de un barco. Los EEM a identificar, dependerán de las características del buque, de las cargas que debe transportar y de las rutas por las que navegue el buque. Por lo tanto, se recomienda definir los EEM de manera específica para cada buque.

Para ello, será necesario llevar a cabo actividades tales como auditorías energéticas o revisiones energéticas para el buque correspondiente.

6.1.1.2. LA IMPORTANCIA DE ESTABLECER METAS U OBJETIVOS.

Según las restricciones de la OMI, la instauración de metas para el desarrollo del SEEMP es de carácter voluntario (no están obligados a ser publicados ni están sujetos a inspección externa). El objetivo de la creación de metas es aumentar el compromiso para mejorar la eficiencia energética, por lo tanto, las directrices de la OMI incitan a las empresas a establecer objetivos.

El objetivo debe ser medible y fácil de entender, y se usará para evaluar si se cumplen los objetivos establecidos. A pesar de la dificultad para establecer objetivos a nivel del barco, es importante establecer algunos, ya que es la mejor forma de garantizar que la mejora continua se lleve a cabo [27].

6.1.1.3. GESTIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS.

La mejora de la eficiencia energética de un buque no depende necesariamente del operador del buque únicamente. Varias partes interesadas están involucradas. Entre ellas se encuentran las autoridades portuarias, el dueño de la carga o el fletador, y el propio propietario del buque.

La OMI recomienda que una empresa también establezca un "plan de gestión energética de la compañía" para administrar su flota y garantizar la coordinación de las partes interesadas. Esto también reducirá la carga de trabajo en el personal de a bordo. Si se lleva a cabo una buena labor de coordinación entre las partes interesadas, la eficiencia energética del buque se verá afectada positivamente. [27]

6.1.1.4. GESTIÓN DE RECURSOS HUMANOS.

De acuerdo con las directrices de la OMI, la sensibilización y la capacitación necesaria del personal tanto en tierra como a bordo son elementos importantes. Tal desarrollo de recursos humanos debe considerarse como un componente importante de la planificación.

Además, la compañía debe implementar procedimientos que limiten cualquier carga administrativa a bordo. La gerencia de la compañía debe definir y comunicar los valores y aspiraciones de las empresas y detallar cómo la empresa pretende alcanzar los objetivos de su política energética, incluida la identificación de roles y responsabilidades, el establecimiento de objetivos y la supervisión del desempeño.

6.1.2. IMPLEMENTACIÓN.

A la hora de llevar a cabo el proceso de implementación se deben tener en cuenta dos procedimientos fundamentales:

- Establecimiento del sistema de implementación: un sistema para la implementación de los EEM seleccionados debe definirse a través del

desarrollo de los procedimientos, las tareas y la asignación de roles y responsabilidades.

El SEEMP debe describir cómo se debe implementar cada medida y quiénes son las personas responsables de su implementación. Además, se debe indicar el período de implementación (fechas de inicio y finalización) de cada medida seleccionada. El desarrollo de dicho sistema se puede considerar como parte de la planificación y, por lo tanto, se puede completar en la etapa de planificación.

- Mantenimiento de registros: de acuerdo con las directrices de la OMI, los EEM planificados deben llevarse a cabo en concordancia con el sistema de implementación predeterminado. El mantenimiento de registros para la implementación de cada EEM es beneficioso para la autoevaluación [7].

6.1.3. SUPERVISIÓN.

En un SEEMP, los aspectos de supervisión también deben aclararse en la fase de planificación. Para permitir el desarrollo de una buena revisión, se debe desarrollar el sistema de supervisión, incluyendo los procedimientos para recopilar datos y la asignación de personal. El desarrollo de dicho sistema se puede considerar como parte de la planificación y, por lo tanto, debe completarse en la etapa de planificación.

Para evitar cargas administrativas innecesarias al personal de los buques, la vigilancia debería llevarse a cabo en la medida de lo posible por parte del personal de tierra, utilizando datos obtenidos de los libros de registro y sistemas de datos existentes en los tableros de a bordo. En este contexto de la supervisión, el EEOI del barco puede utilizarse como la principal herramienta de revisión para asegurar que el ciclo de administración de energía consigue los resultados esperados [15].

6.1.4. AUTOEVALUACIÓN.

El objetivo de la autoevaluación es evaluar la efectividad de las medidas planificadas y su implementación. Para este proceso, deberían desarrollarse procedimientos para la autoevaluación de la gestión de la energía del buque. Además, la autoevaluación debe implementarse periódicamente utilizando los datos recopilados a través de la supervisión.

La autoevaluación normalmente se realiza periódicamente, por ejemplo anualmente o dos veces al año. Los resultados obtenidos en la autoevaluación forman la base para la planificación del siguiente ciclo de mejor [15].

6.2. FORMATO DEL DOCUMENTO SEEMP.

Las directrices de la OMI (MEPC.213 (63)) proporcionan una plantilla de muestra para el desarrollo del SEEMP [15].

A SAMPLE FORM OF A SHIP EFFICIENCY ENERGY MANAGEMENT PLAN

Name of Vessel:		GT:	
Vessel Type:		Capacity:	
Date of Development:		Developed by:	
Implementation Period:	From: Until:	Implemented by:	
Planned Date of Next Evaluation:			

1 MEASURES

Energy Efficiency Measures	Implementation (including the starting date)	Responsible Personnel
Weather Routeing	<Example> Contracted with [Service providers] to use their weather routeing system and start using on-trial basis as of 1 July 2012.	<Example> The master is responsible for selecting the optimum route based on the information provided by [Service providers].
Speed Optimization	While the design speed (85% MCR) is 19.0 kt, the maximum speed is set at 17.0 kt as of 1 July 2012.	The master is responsible for keeping the ship's speed. The log-book entry should be checked every day.

Figura 9. Plantilla del SEEMP

Fuente: MEPC.213 (63)

El SEEMP debe incluir como mínimo los siguientes puntos:

- Detalles de identificación del buque.
- Medidas de Eficiencia Energética y cómo deben implementarse, personas responsables y línea de tiempo.
- Aspectos de supervisión.
- Objetivos.
- Aspectos de evaluación.

7. INDICADOR OPERACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (EEOI).

EEOI es un elemento del marco regulatorio de la OMI que pretende actuar como un indicador de rendimiento de eficiencia energética durante la fase operativa del buque y ser utilizado para supervisar el rendimiento general de eficiencia energética del buque. El objetivo principal del EEOI, es establecer un enfoque coherente para medir la eficiencia energética de un barco para cada viaje o durante un período de tiempo determinado. Se espera que el EEOI asista a los armadores y operadores de buques en la evaluación del rendimiento operacional de su flota y que permita la supervisión de buques individuales en estado de operación y, por lo tanto, los resultados de cualquier cambio realizado en el buque o su operación. De hecho, se recomienda que EEOI se use como una herramienta de monitoreo en el SEEMP como se explicó en la *Sección 6*.

El EEOI representa la emisión de CO₂ real de la combustión de todo tipo de combustibles a bordo de un buque durante cada viaje. Se calcula multiplicando el consumo total de combustible para cada tipo de combustible con el factor de carbono respectivo de cada combustible. Por otra parte, el trabajo de transporte realizado se calcula multiplicando la masa real de carga por la distancia real correspondiente en millas náuticas recorridas por el buque.

La OMI ha desarrollado el EEOI para animar a los armadores y operadores de buques a utilizarlo de forma voluntaria y así poder recopilar información sobre los resultados y las experiencias en su aplicación [13].

7.1. OBJETIVOS DEL EEOI.

Dado que la cantidad de CO₂ emitida por un buque está directamente relacionada con su consumo real de combustible, el cálculo del EEOI puede proporcionar información útil sobre el rendimiento de un buque con respecto a su eficiencia operacional.

La OMI proporciona unas directrices para ayudar a los usuarios en el proceso de establecer un mecanismo para lograr la limitación o reducción de las emisiones de GHG de los buques en operación. Las directrices del EEOI están destinadas a proporcionar un ejemplo de un método de cálculo que podría utilizarse como un enfoque objetivo, basado en el rendimiento para controlar la eficiencia de la operación de un buque. Las Directrices EEOI son de carácter recomendatorio y presentan un posible uso de un indicador operativo. Sin embargo, los armadores, los operadores de buques y las partes interesadas pueden implementar las directrices de la OMI o un método equivalente en sus sistemas de gestión ambiental y considerar la adopción de los principios allí contenidos al desarrollar planes para la supervisión del rendimiento [13]

7.2. CÁLCULO DEL EEOI.

La expresión básica y general para el cálculo del EEOI para un solo viaje viene definida como:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{carga} \times D}$$

En cambio, para obtener el promedio del indicador de un período o de varios viajes, el EEOI se calcula de la siguiente manera:

$$Average\ EEOI = \frac{\sum_i \sum_j FC_{ij} \times C_{Fj}}{\sum_i (m_{carga,i} \times D_i)}$$

Donde:

- “j” es el tipo de combustible.
- “i” es el número de viaje.

- “ FC_{ij} ” es la masa de combustible consumido “ j ” en el viaje “ i ”.
- “ C_{Fj} ” es la masa de combustible para el factor de conversión de masa de CO_2 para el combustible “ j ”.
- “ m_{carga} ” es carga transportada (toneladas) o trabajo realizado (número de TEU o pasajeros) o toneladas brutas para buques de pasaje.
- “ D ” es la distancia en millas náuticas correspondiente a la carga transportada o al trabajo realizado.

Las unidades del EEOI dependen de la medición de la carga transportada o trabajo realizado.

A la hora de calcular el EEOI promedio, se debe disponer a nuestra disposición de suficientes datos e información relacionada con los trayectos recorridos por el buque. Una de las fuentes principales dónde se recopilan datos e información puede ser el libro de registro del barco (libro de registro del puente, libro de registro del motor, libro de registro de la cubierta y otros registros oficiales). Es importante recopilar suficiente información sobre el tipo y la cantidad de combustible, la distancia recorrida y el tipo de carga para que se pueda generar una evaluación realista.

La cantidad y el tipo de combustible utilizado y la distancia recorrida deben ser documentados y registrados por el buque de manera consistente. Todo el proceso puede ser automatizado si es posible y será de gran ayuda a la hora de calcular el EEOI.

Para un viaje o período determinado, los datos sobre el consumo de combustible o carga transportada y la distancia recorrida en un patrón de navegación continua podrían recopilarse como se muestra en la siguiente hoja de informes [14].

Name and type of ship						
Voyage or day (i)	Fuel consumption at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type ()	Fuel type ()	Fuel type ()	...	Cargo (m) (tonnes or units)	Distance (D) (NM)
1						
2						
3						
4						

Tabla 7. Hoja de informe para la recopilación de datos para el cálculo del EEOI

Fuente: MEPC.1/Circ.684

Otro de los factores a tener en cuenta en el cálculo del EEOI es el factor de conversión (CF). CF es un factor de conversión no dimensional entre el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ producidas. El valor del CF varía según las directrices de la OMI. A continuación se adjunta la tabla de valores proporcionada por la OMI.

Tipo de combustible	Referencia	Contenido de carbono	C _F (ton. de CO ₂ /ton. de combustible)
1. Diésel/gasoil	ISO 8217 Grados DMX a DMB	0,8744	3,206
2. Fueloil ligero	ISO 8217 Grados RMA a RMD	0,8594	3,151
3. Fueloil pesado	ISO 8217 Grados RME a RMK	0,8493	3,114
4. Gas de petróleo licuado (GPL)	Propano	0,8182	3,000
	Butano	0,8264	3,030
5. Gas natural licuado (GNL)		0,7500	2,750
6. Metanol		0,3750	1,375
7. Etanol		0,5217	1,913

Tabla 8. Valor del factor de conversión según el tipo de combustible utilizado

Fuente: MEPC.1/Circ.684

7.3. PAUTAS A SEGUIR PARA EL CÁLCULO DEL EEOI.

Para establecer la EEOI, generalmente se necesitarán cumplir los siguientes pasos:

- Definir el período para el que se calcula el EEOI.
- Definir fuentes de datos para la recopilación de datos.
- Recolectar datos.
- Adaptar los datos al formato apropiado.
- Calcular el EEOI.

Para llevar a cabo un buen cálculo del EEOI, la recopilación de datos de los buques debe incluir la distancia recorrida, la cantidad y el tipo de combustible utilizado, y toda la información de combustible que pueda afectar la cantidad de dióxido de carbono emitido. Se deben desarrollar y mantener procedimientos documentados para supervisar y medir, de manera regular los datos más significativos.

Por otra parte, se recomienda que el personal de tierra realice el seguimiento del EEOI, conforme a las directrices de la OMI, para evitar cargas administrativas innecesarias al personal de los buques, utilizando datos obtenidos de los registros requeridos existentes [14].

8. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA A BORDO DEL BUQUE.

Para la mejora en los buques la OMI orienta a actuar en las áreas que vemos resumidas en la *Figura 10*. Las acciones de mejora sobre ellos aconsejan orientar el estudio en tres líneas fundamentales: sobre el uso de combustible, sobre el manejo de la plataforma y, para buques nuevos, sobre la definición del diseño.

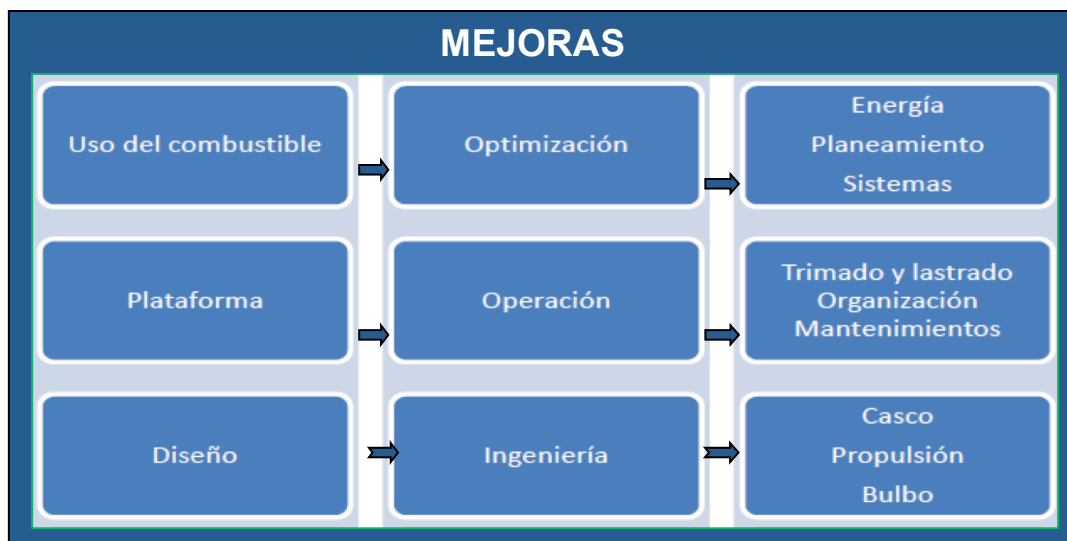


Figura 10. División de las mejoras de la eficiencia energética

Fuente: Elaboración propia

8.1 OPTIMIZACIÓN DEL TRIMADO.

La mayoría de los barcos están diseñados para transportar una cierta cantidad de carga a una velocidad designada, consumiendo una cierta cantidad de combustible en una condición de trimado específica. El ajuste del trimado del buque tiene una influencia significativa en la resistencia del barco a través del agua. Por definición, si la resistencia aumenta, el consumo de combustible y las emisiones también aumentan. Por lo tanto, la optimización del trimado puede ofrecer ahorros significativos en el consumo de combustible [19][21].

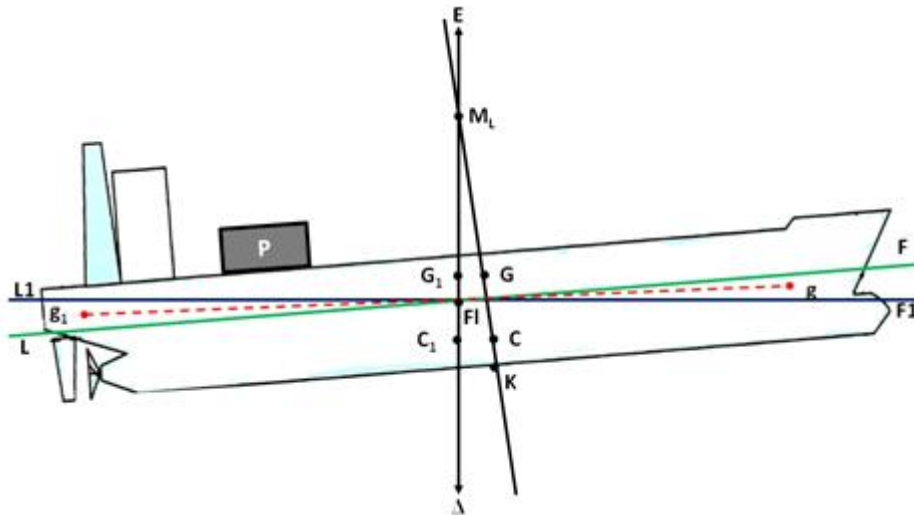


Figura 11. Trimado de un buque

Fuente: Blogspot Estabilidad del Buque

El diseño o los factores de seguridad del buque pueden limitar la optimización del trimado. Aun así, por pequeños que sean los cambios que se realicen en el buque pueden tener un gran impacto en el rendimiento del barco. En general, con la optimización del trimado, se puede obtener un potencial de reducción del 2% al 4% en el consumo de combustible. Sin embargo, dependiendo del tipo de barco y del calado de operación, este número puede ser mayor o menor.

Para reducir el consumo de combustible y las emisiones, es necesario optimizar el trimado antes y durante el viaje del buque mediante una carga adecuada o el uso de agua de lastre para lograr una posición flotante que consuma la menor potencia de propulsión posible. Para controlar el trimado durante el viaje se llevan a cabo lecturas en tiempo real a través de sensores y sistemas de datos relevantes [19].

8.1.1 LA INFLUENCIA DEL TRIMADO.

Las resistencias que influyen en el buque y su trimado están estrechamente relacionados entre sí. Esto se debe al hecho de que el trimado puede cambiar los parámetros que afectan el rendimiento hidrodinámico de un barco. Por este motivo, al optimizar el trimado del buque también se optimiza su resistencia. La

variación del trimado da lugar a una serie de cambios que influyen directamente en la resistencia hidrodinámica del buque:

- Cambios a la resistencia a las olas.
- Cambios en las superficies mojadas y por lo tanto la resistencia a la fricción.
- Cambios en la resistencia debido a la sumersión del espejo de popa.
- Cambios en varios coeficientes de propulsión (coeficiente de resistencia y empuje).
- Cambios en las eficiencias de propulsión (eficiencia rotativa relativa y eficiencia de la hélice).

8.1.2. TRIMADO DE OPERACIÓN.

Para buques con altos coeficientes de bloque o con bulbos de proa no muy pronunciados se recomienda operar con un trimado cero ya que estos barcos no suelen navegar a velocidades muy elevadas, sufriendo así resistencias relativamente bajas.

En los buques con un cuerpo más delgado y una velocidad de operación más alta, el impacto del trimado en el rendimiento del buque puede ser significativo. En particular, el trimado puede tener un impacto en el rendimiento del bulbo de proa y, por lo tanto, en la resistencia a la formación de olas. Esto significará que estos tipos de barcos son más sensibles al trimado y, por lo tanto, se debe tener más cuidado con su optimización.

Para mejorar la eficiencia energética del buque mediante la optimización del trimado, se llevan a cabo pruebas prácticas y una posterior elaboración de tablas de trimado en función de los resultados obtenidos en las prácticas y ensayos.

Este tipo de medida de eficiencia energética influye, debido a sus características técnicas, a buques portacontenedores, buques de carga y pasajeros Ro-Ro y buques Ro-Ro (carga de vehículos).

8.2 GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE (BWM).

El agua de lastre (BW) es esencial para controlar el trimado, el calado, la estabilidad y las presiones del buque. Las actividades del agua de lastre están reguladas en gran medida no solo por las implicaciones de seguridad del buque mencionadas anteriormente sino también porque han sido reconocidas como un transporte de bioespecies indeseables y extrañas de su hábitat natural a otros ecosistemas.

El impacto de la gestión del agua de lastre (BWM) en los consumos de combustible de un buque normalmente no se considera a pesar de la evidencia de que la eficiencia energética general de un buque se ve afectada por el agua de lastre ya que se utiliza la energía del buque para el intercambio de lastre mediante bombas y para conseguir cumplir las normas del agua de lastre instalando sistemas adicionales.

Por otra parte, el agua de lastre afecta directamente el desplazamiento del buque la cual cosa supone variaciones en las superficies mojadas y en la resistencia del buque. Por lo tanto, cuanto más agua de lastre transporte el buque, mayor será el desplazamiento del buque y se espera un mayor consumo de energía. La variación de agua de lastre del buque también interfiere en el trimado del buque [19][21].

8.2.1 MÉTODOS PARA EL INTERCAMBIO DE AGUA DE LASTRE.

Hay tres métodos de intercambio de agua de lastre que han sido evaluados y aceptados por la OMI [31].

- Método secuencial: un proceso por el cual un tanque de lastre primero se vacía y luego se rellena con agua de lastre de reemplazo para lograr al menos un intercambio volumétrico del 95%.
- Método de flujo continuo: proceso mediante el cual se bombea agua de lastre de reemplazo a un tanque de lastre, permitiendo que el agua de lastre existente se desborde del tanque. Para un intercambio de lastre

efectivo, el volumen de flujo a través del agua debe ser al menos 3 veces el volumen del agua en los tanques.



Figura 12. Método de flujo continua para agua de lastre

Fuente: AVDM

- Método de dilución: proceso mediante el cual se suministra agua de lastre de reemplazo a través de la parte superior del tanque de lastre con descarga simultánea desde el fondo al mismo caudal y manteniendo un nivel constante en el tanque durante toda la operación [19][21].

8.3 OPTIMIZACIÓN DEL CASCO Y DE LA HÉLICE.

8.3.1 RESISTENCIA DEL BUQUE Y RUGOSIDAD DEL CASCO.

Cuando el casco se mueve a través del agua, el agua se arrastra a lo largo del casco, creando un cuerpo de agua siguiendo al buque y formando lo que se conoce como una capa límite. El aumento de la rugosidad de la superficie del casco tiende a aumentar la capa límite, lo que aumenta la fricción del casco. El efecto de la rugosidad de la superficie sobre la resistencia depende de la velocidad efectiva del agua con respecto al casco.

Si se mantiene la superficie del casco limpia, la resistencia del buque será menor y por lo tanto se ahorrará combustible y se desprenderá una menor cantidad de CO₂. En cambio, si el casco se encuentra sucio (con rugosidad) se reducirá la suavidad del casco e incluso se puede agregar peso al buque reduciendo la capacidad de carga del mismo.

La rugosidad del casco se puede controlar mediante unos buenos métodos de limpieza y mantenimiento. Aún así, incluso con buenas prácticas de mantenimiento, la rugosidad promedio del casco puede aumentar de 10 a 25 μm por año, dependiendo del sistema de recubrimiento del casco.

Una de las causas del aumento de la rugosidad del buque es la incrustación en el casco de elementos como el limo, malezas marinas y percebes. Los principales factores que influyen en las tasas de incrustación del casco son:

- Rugosidad inicial del casco.
- Calidad del revestimiento del casco.
- Robustez del revestimiento con respecto al daño mecánico.
- Las áreas del casco donde hay luz solar, a lo largo de los costados del casco y cerca de la línea del agua.
- Temperatura del agua ya que cuando el agua está más fría generalmente hay menos incrustaciones.
- La salinidad del agua.
- Cantidad de algas en el agua.
- Velocidad de la embarcación y su perfil de operación.
- Mantenimiento del casco.

Durante la operación de la nave, la rugosidad de la superficie puede aumentar debido a grietas y daños en el recubrimiento, así como a la corrosión, que también puede atraer el crecimiento marino. Aplicar los recubrimientos adecuados en intervalos más cortos puede reducir el consumo de energía, pero para ello el buque requerirá de un dique seco adicional que supone unos costos muy elevados para la compañía [19][21].

8.3.2 RUGOSIDAD DE LA HÉLICE.

Las hélices sufren degradación en el rendimiento debido a la rugosidad de la superficie. La rugosidad de la superficie se crea debido a la corrosión, la erosión por cavitación y el ángulo de ataque utilizado por la hélice. La magnitud absoluta de la reducción en la eficiencia del barco debida a la rugosidad de la hélice es menor que la experimentada con una superficie áspera del casco, pero la pérdida de eficiencia por unidad de área afectada es mayor, lo que hace que la limpieza y el pulido de la hélice sea muy convincente.

El efecto del pulido y de la limpieza será mayor para hélices con grandes relaciones de aspecto de área y para hélices que funcionen a altas velocidades de rotación. El pulido reducirá principalmente la pérdida de fricción de la hélice, pero en muchos casos también reducirá la pérdida de rotación.

Por otra parte, un mal mantenimiento también puede aumentar la rugosidad y reducir el rendimiento de la hélice. Esto podría suceder a causa de un exceso de rociado de los revestimientos del casco o de un pulido demasiado agresivo [19][21].

8.4. GESTIÓN DE LA CARGA DE LOS MOTORES DEL BUQUE.

8.4.1. GESTIÓN DE CARGA PARA EL MOTOR PRINCIPAL.

Para los motores principales en configuraciones mecánicamente vinculadas a la hélice, no hay mucho que se pueda hacer en cuanto a administración de carga ya que normalmente los barcos tienen un motor principal y la administración de carga normalmente se aplica a casos con más de un motor.

Independientemente de la carga con la que opere el motor principal, se recomienda que la carga principal del motor se mantenga en un nivel razonablemente estable durante su funcionamiento. Esto se logra manteniendo una velocidad del motor constante (RPM). Los cambios frecuentes en las rpm del eje, por lo tanto, la carga del motor, no son eficientes y deben evitarse. [19][21].

8.4.2. GESTIÓN DE CARGA PARA MOTORES AUXILIARES.

Existe una gran evidencia que muestra que la administración de carga para motores auxiliares es una forma efectiva de reducir el consumo de combustible de los motores y sus costos de mantenimiento. Cada barco normalmente tiene tres o más motores auxiliares conectados a un generador eléctrico. El motor y el generador como un sistema combinado normalmente se denominan diesel-generator (DG).

A bordo de los buques, y a menudo con el fin de evitar pérdidas debidas a un apagón, dos DG operan por largos períodos a menos del 50% del factor de carga. Cuando los DG operan a un factor de carga reducido el rendimiento de la eficiencia energética disminuye. Además, la operación de motores diesel con cargas bajas causa un sello pobre del anillo del pistón, un rendimiento sub-óptimo del turbocompresor, un bajo consumo específico de combustible, tensiones térmicas elevadas y un mayor consumo específico de aceite lubricante, la cual cosa conlleva más mantenimiento y un mayor consumo de combustible [19][21].

8.4.3. REDUCCIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA.

Para poder reducir el consumo de energía a bordo del buque, se debe conocer el funcionamiento de la maquinaria y de los sistemas del buque a la perfección. Mediante el conocimiento necesario, se proponen un conjunto de medidas para obtener un mayor ahorro energético [31]:

- Evitar el uso innecesario de energía mediante el apagado de la maquinaria cuando no sea necesario. Todas las máquinas y equipos no esenciales y no requeridos que no afecten la seguridad del buque y del personal deberían detenerse mientras están en el puerto y en el mar para reducir la carga en los generadores diesel.
- Evitar el funcionamiento en paralelo de generadores eléctricos sobretodo cuando uno es suficiente para desempeñar la función necesaria.
- Operación optimizada de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) a bordo.

- Se debe mantener una coordinación fluida a bordo entre los departamentos de cubierta y motor, especialmente para el uso de elementos de la maquinaria para poder reducir la carga de los generadores.

8.5. GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE.

La calidad del combustible tiene un impacto significativo en la confiabilidad y el rendimiento de los motores y calderas. A la hora de comprar un combustible, se deben considerar las cualidades de este en términos de grado de combustible, su especificación, valor calorífico e idoneidad para motores y calderas.

La norma ISO 8217 establece los límites para el parámetro de calidad del combustible. Mediante estos límites establecidos, se asegura que el combustible será tratado a bordo del buque para cumplir con los requisitos específicos de los motores y calderas instalados a bordo del buque. Los sistemas de tratamiento a bordo son vitales para garantizar que el combustible se purifique de manera efectiva para garantizar el cumplimiento de las especificaciones necesarias del sistema de combustión pertinente [19][21].

El primer paso importante en la gestión del combustible es garantizar que se solicite la calidad correcta de combustible para el buque. Al solicitar abastecimiento de combustible para un buque, se tienen que considerar una serie de limitaciones:

- Limitaciones de la capacidad de maquinaria del barco.
- Limitaciones de almacenamiento.
- Perfil de operación del buque.
- Área de comercialización para el cumplimiento ambiental.
- Control del tiempo para realizar el análisis del combustible antes de su uso.

Una vez se ha llevado a cabo el abastecimiento de combustible en el buque se lleva a cabo un análisis de muestras completamente representativas de cada lote, para asegurar la calidad del combustible suministrado e identificar posibles

problemas potenciales que puedan surgir debido al suministro de combustibles de baja calidad.

8.5.1. INTRODUCCIÓN DE ADITIVOS EN EL COMBUSTIBLE.

Para mejorar la calidad y la eficiencia del combustible se añaden compuestos químicos conocidos como aditivos. Añadir aditivos en el combustible podría proporcionar beneficios para los combustibles marinos ofreciendo principalmente una mejora en la combustión del combustible y ayudando a prevenir el ensuciamiento de los sistemas de escape. Mediante la introducción de aditivos en el combustible también se alargan los intervalos de revisión y mantenimiento del motor ayudando a las compañías a ahorrar tiempo y dinero.

8.5.2. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.

Hay una serie de medidas de eficiencia energética directamente relacionadas con el aspecto de la gestión del combustible. Si tenemos en cuenta las siguientes medidas se podrá obtener un buen rendimiento energético y un menor consumo de combustible [31].

- Los buques deben llevar la cantidad idónea de abastecimiento de combustible. Un exceso de combustible puede suponer un incremento notable del peso del buque que producirá un consumo elevado de combustible debido al aumento de superficie de contacto con el agua (mayor resistencia).
- Para garantizar el almacenamiento y la transferencia de energía eficiente, la temperatura del combustible en los tanques de almacenamiento debe controlarse y solo se debe calentar el combustible a transferir. La calefacción de vapor y la calefacción de seguimiento solo deben aplicarse según sea necesario y no dejarse funcionando innecesariamente.
- Asegurarse que los accesorios del tanque no dejen entrar agua o otros fluidos que puedan incidir en el combustible.

- Evitar la corrosión en las paredes del tanque mediante un buen mantenimiento para librarse del desprendimiento restos y que sean arrastrados por el combustible.
- Mantener los tanques de sedimentación a una temperatura que permita que los sistemas de purificación de combustible alcancen la temperatura de tratamiento requerida.

8.6. CALDERAS Y SISTEMAS DE VAPOR.

En los buques de GNL (Gas Natural Licuado) impulsador por vapor y en algunos petroleros que transportan carga líquida, el sistema de vapor desempeña un papel importante en la eficiencia energética. Para buques de transporte de GNL, más del 80% del uso de energía es consumido por las calderas. En cambio, para los demás buques solo un 6% de la energía es destinada al uso de las calderas.

8.6.1. MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CALDERA.

- Evitar la suciedad en los tubos de la caldera y en las superficies de transferencia: La suciedad en estos conductos se traducirá en una menor transferencia de calor del gas y una mayor retención de calor por los gases de escape a medida que salen de la caldera. Para evitar esta situación, las áreas de transferencia de calor de la caldera deben ser monitoreadas y supervisadas.
- Supervisión de la temperatura del pozo de condensación y de los niveles de purga: La temperatura del pozo debe mantenerse a la temperatura especificada por los fabricantes. Una temperatura baja (por ejemplo, por debajo de 80-85 C) hará que el agua de alimentación más fría ingrese a la caldera, aumentando así el costo de combustible debido a la necesidad de más calefacción para la evaporación. Por otra parte, una temperatura elevada puede provocar la evaporación de agua en la succión de la bomba de alimentación y provocar el bloqueo de vapor en la bomba de alimentación y la pérdida de succión.

Además, la purga de la caldera es necesaria para controlar la cantidad de sólidos disueltos como resultado de la evaporación y la impureza del agua de reposición o la adición de otro químico.

- Evitar el exceso de aire de combustión: Para quemar el combustible, se debe suministrar aire a la caldera. El exceso de aire no utilizado en la combustión se calienta y luego se descarga a través de la chimenea. Esto es un desperdicio de energía. Por lo tanto, cualquier exceso de aire que no se necesite para la combustión causará pérdida de energía, ya que eliminará el calor de la caldera y la será emitido en la atmósfera en forma de O₂ y CO₂.
- Implementación de economizadores de gas de escape: La energía obtenida y la cantidad de vapor generada por el economizador de gases de escape son normalmente suficientes para abastecer los requisitos de vapor de la placa de a bordo, por lo que normalmente un buque con economizador de gases de escape no necesita encender la caldera mientras está navegando.
- Buena gestión de carga de la caldera: La eficiencia de la caldera es más alta en cierto punto y luego se reduce con los cambios en la carga. Por lo tanto, la gestión de la carga de la caldera podría considerarse como un aspecto de la eficiencia energética [28].

8.7. OTRAS MEDIDAS.

La instauración de nuevas tecnologías en los buques es una forma efectiva de mejorar la eficiencia energética del buque. Cabe señalar que la aplicabilidad de tales tecnologías dependerá del tipo de buque, el tamaño del buque, el perfil de operación y otros factores. Por lo tanto, la toma de decisiones para cada tecnología tendrá que pasar por el proceso normal de aspectos de viabilidad técnica y análisis de rentabilidad económica para el barco específico que se está considerando [29]

8.7.1. DISPOSITIVOS INTALADOS DELANTE DEL PROPULSOR.

8.7.1.1. MEWIS DOCT.

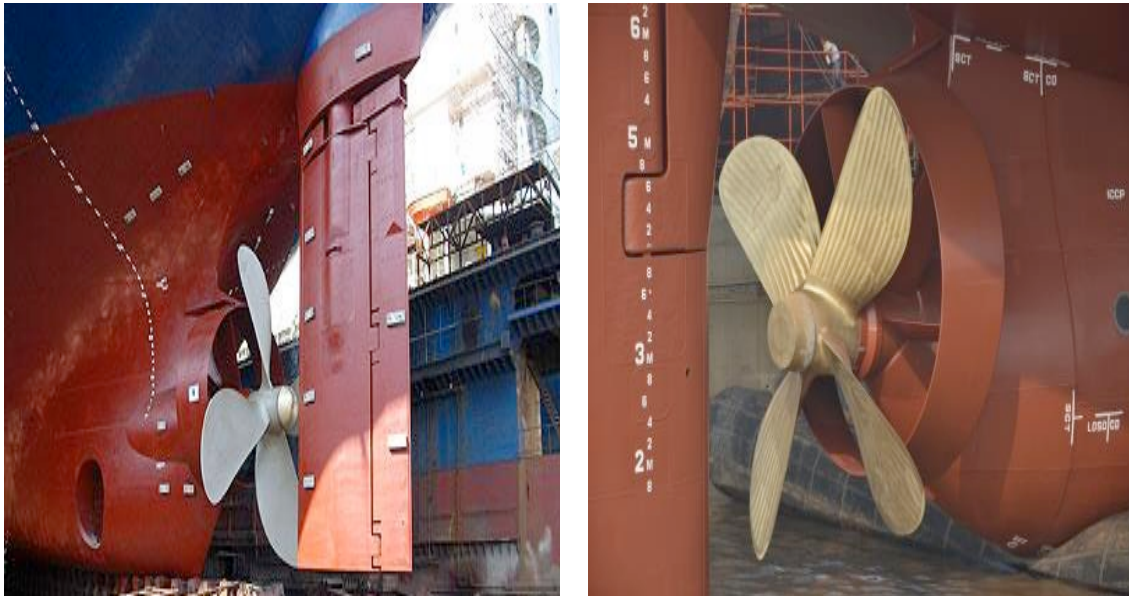


Figura 13. Mewis Doct

Fuente: Marine Link

El Mewis Doct es un dispositivo diseñado para ir instalado delante de la hélice. Se utiliza principalmente en buques cisterna y buques de alto coeficiente de bloque. El dispositivo endereza y acelera la estela del casco en la hélice y también produce un impulso neto hacia adelante. Además, genera un flujo mejorado que reduce significativamente el vórtice del eje de la hélice con la deducción de empuje correspondiente, lo que permite un mejor empuje y un mejor flujo de entrada al timón. El Mewis Doct dispone de dos aletas en su estructura que pueden generar un pre-remolino en la dirección contraria, reduciendo las pérdidas de flujo de rotación de la hélice [32].

La forma en que mejora la eficiencia de la hélice es a través de un mejor flujo aerodinámico y dirigido en la hélice. Mediante la implementación del Mewis Doct al buque, se puede llegar a conseguir un nivel de ahorro de hasta un 8% [30].

8.7.1.2. WAKE-EQUALIZING DUCT.

El Wake-equalizing Duct acelera el flujo en la hélice en el cuadrante superior a cada lado y retrasa el flujo en los cuadrantes inferiores. Esto da como resultado un campo de estela más homogéneo frente a la hélice, mientras que la estela promedio permanece casi inalterada [33].

Este dispositivo es ideal para embarcaciones con formas de casco completo como los buques cisterna, y portacontenedores que operan a velocidades inferiores a 19 nudos.

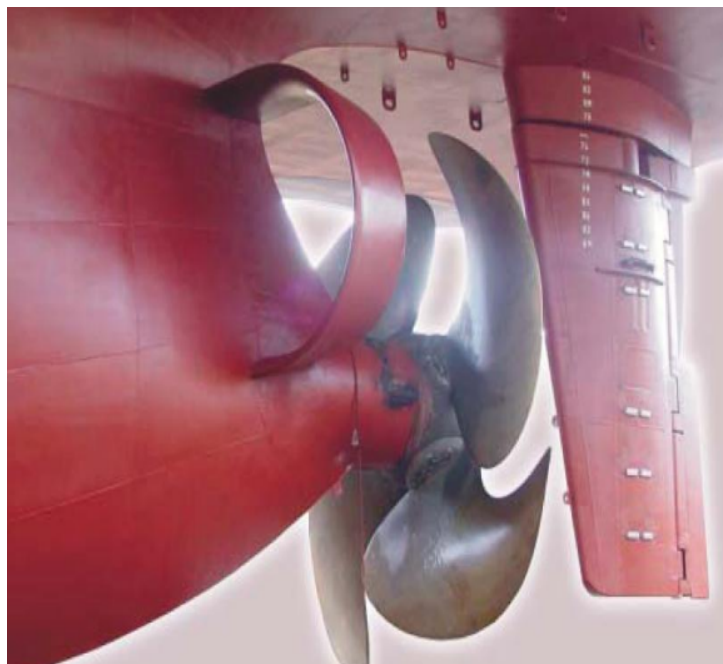


Figura 14. Wake-Equalizing Duct

Fuente: Marine Link

8.7.1.3. PRE-SWIRL STATOR.

El Pre-swirl stator está formado por un conjunto de estators ubicados en la parte delantera de las hélices. Estos actúan como paletas guía para dirigir el flujo hacia la hélice. El objetivo de las paletas guía es eliminar o reducir el flujo transversal que a menudo se afecta a la zona frontal de la hélice.

El Pre-swirl stator proporciona una ganancia del 4% en potencia de propulsión, mejora el rendimiento de cavitación y elimina las zonas de presión generadas por la cavitación en la hélice [30].

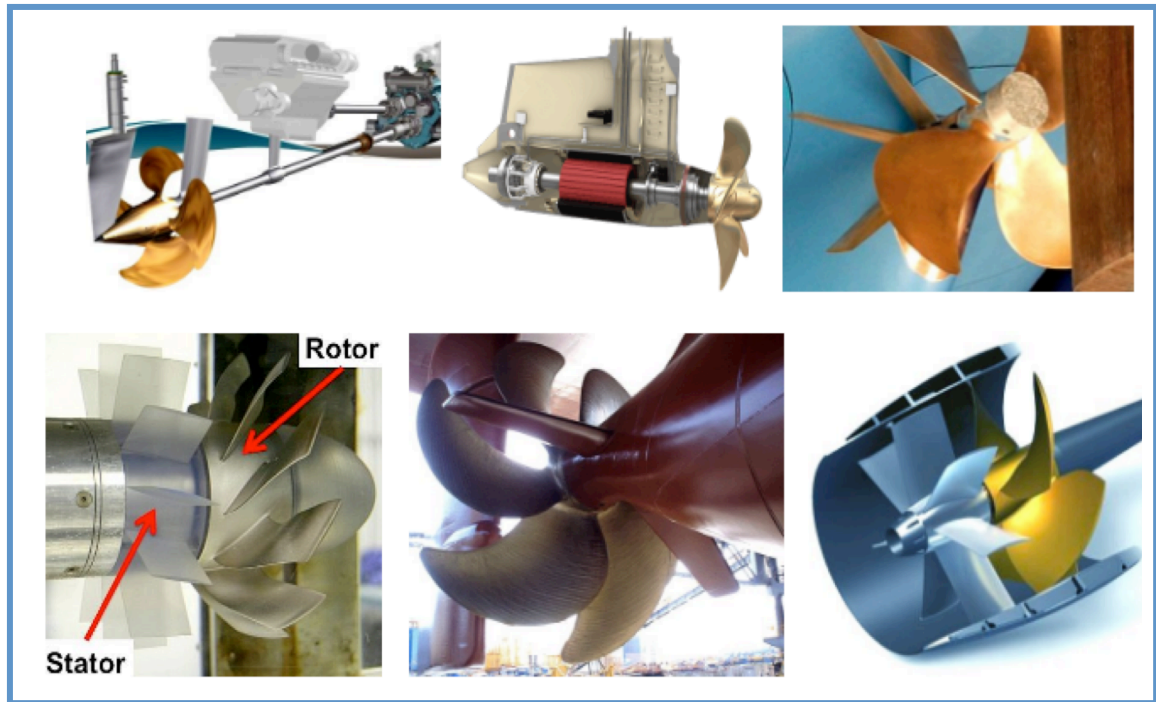


Figura 15. Pre-Swirl Stator

Fuente: Marine Link

8.7.2. DISPOSITIVOS INSTALADOS DETRÁS DE LA HÉLICE.

8.7.2.1. PROPELLER BOSS CAP FIN (PBCF).

EL PBCF consiste en pequeñas aletas unidas a la tapa de la hélice mediante las cuales se eliminan o reducen los vórtices concentrados generados por el giro de la hélice. Además, el PBCF aumenta la eficiencia propulsora en aproximadamente un 5% y la eficiencia del combustible del barco en aproximadamente un 2%. Una de las cosas que caracterizan a este dispositivo es su facilidad de adaptación en el buque, sin la necesidad de que el buque se encuentre en el dique seco para su instalación [30].

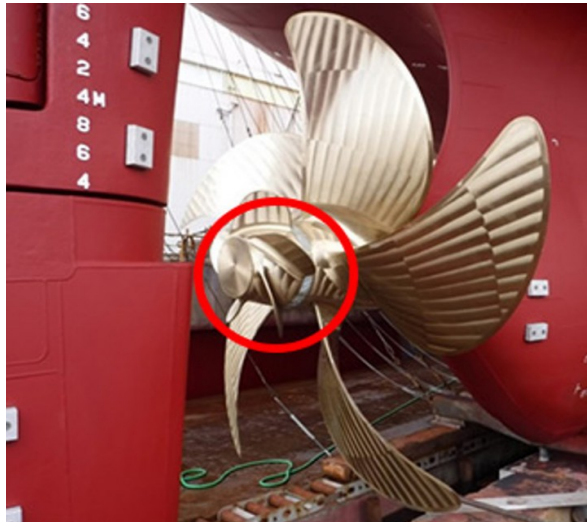


Figura 16. PBCF

Fuente: Marine Link

8.7.2.2. HÉLICE Y TIMÓN COMO UNIDAD INTEGRAL.

En este tipo de dispositivo, la hélice y el timón están diseñados como una unidad integral. El diseño consta de un bulbo detrás de la hélice que se ajusta para que coincida con una configuración similar a la del timón. Este tipo de dispositivo se puede instalar en buques de tipo ROPax y en portacontenedores que navegan a velocidades relativamente altas. Su implementación puede suponer un ahorro energético del 4%, siempre dependiendo del buque en el que se instale [32].

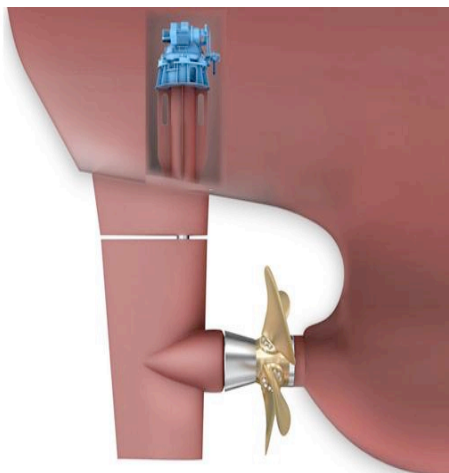


Figura 17. Hélice y timón como unidad

Fuente: Marine Link

8.7.3. OPTIMIZACIÓN DE LA PROA DEL CASCO DEL BUQUE.

La optimización de la parte delantera del casco incluye la consideración del diseño de un bulbo. La razón por la cual se tiene que considerar la implementación de un bulbo en proa, es que cuando un barco navega el cuerpo de proa genera olas. Estas olas golpean el lado frontal y aumentan la resistencia del barco y, por lo tanto, el buque requiere mayor potencia para avanzar. Cuanto más rápido navega el barco, mayor es la resistencia de la ola y, por lo tanto, se necesita más energía para poder navegar.

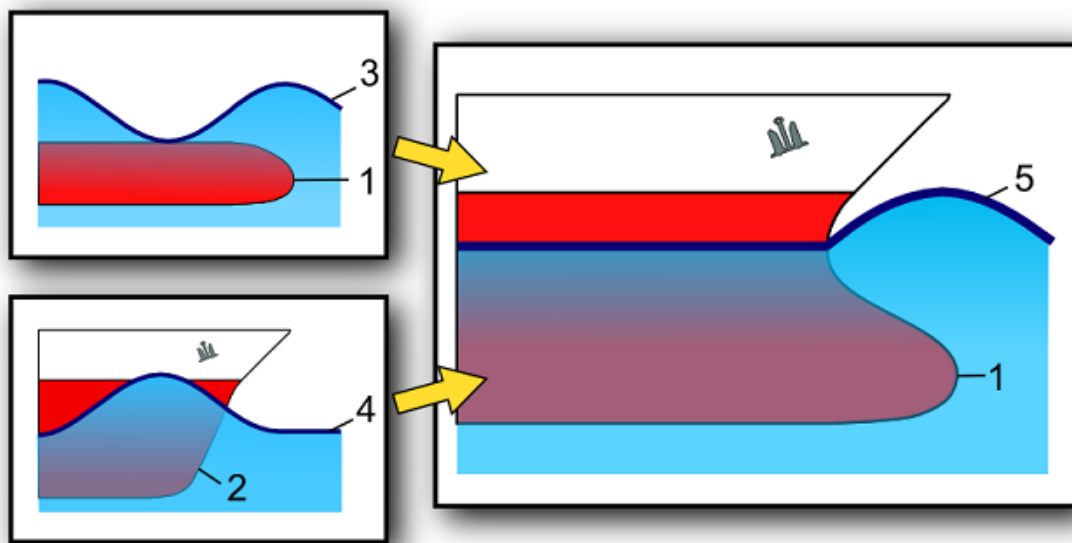


Figura 18. Función del bulbo

Fuente: AB surveyors

El bulbo de proa, reduce la resistencia de las olas al producir su propio sistema de ola que está desfasado con las olas de proa producidas por el casco, creando un efecto de cancelación y reducción general de la resistencia. El bulbo funciona de forma adecuada en un cierto rango de velocidad, dependiendo del tipo de buque. Si se sobrepasan esos rangos de velocidad, el efecto del bulbo puede ser negativo [34] [35].

8.7.4. RECUPERACIÓN DEL CALOR RESIDUAL.

El calor residual puede utilizarse para producir agua caliente, vapor o electricidad. Este calor residual se puede obtener a partir de los gases de escape calientes o el agua caliente del sistema de enfriamiento de los motores.

Los sistemas de recuperación de calor residual utilizan las pérdidas de calor térmico del gas de escape para la generación de electricidad o la propulsión adicional. Esta tecnología está disponible para un grupo reducido de buques, principalmente para buques de nueva construcción. En buques ya existentes es difícil adaptar estos sistemas. [32]

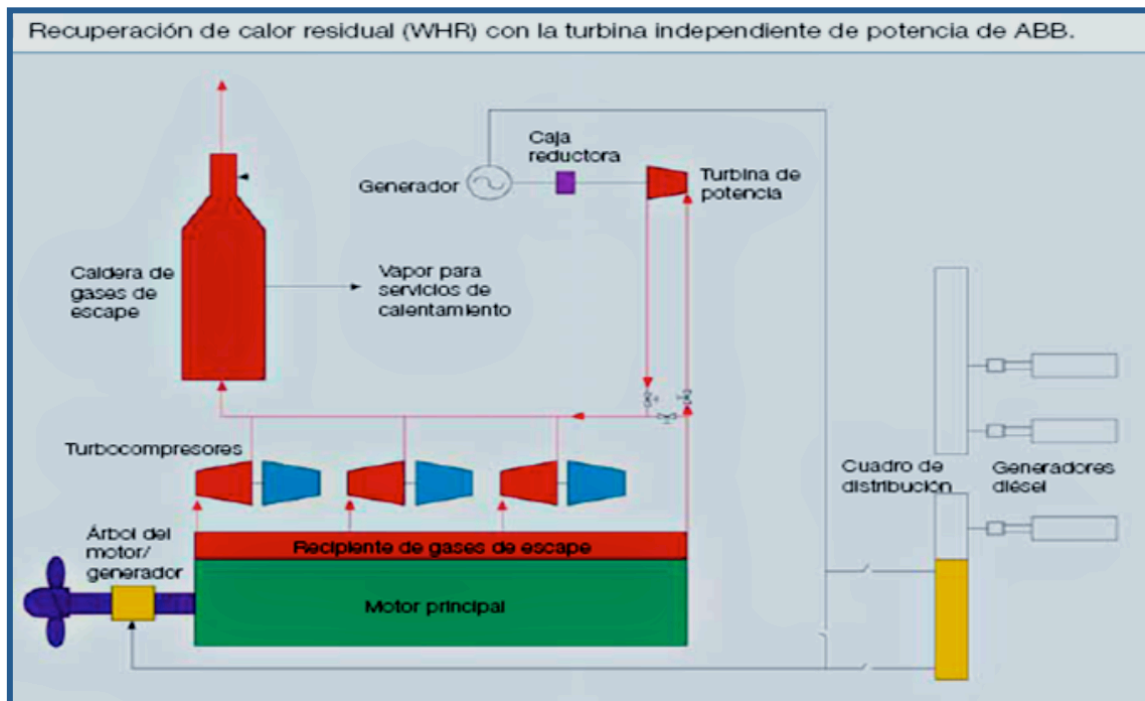


Figura 19. Esquema de recuperación del calor residual

Fuente: HD bolier

9. APLICACIÓN DEL SEEMP.

PLAN DE GESTIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL BUQUE (SEEMP)

Resolución MEPC.203 (62) - Enmiendas al Anexo del Protocolo de 1997 para corregir el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (incluyendo los reglamentos sobre la eficiencia energética de los buques en el Anexo VI del MARPOL), aprobada el 15 de julio de 2011.

ÍNDICE

Glosario.

1. General.

2. Recursos humanos.

3. Documentación del SEEMP.

4. Planificación.

4.1 Medidas específicas del buque.

4.2 Medidas específicas de la compañía.

4.3 Formación personal.

4.4 Objetivos.

5. Implementación.

6. Supervisión y cálculo del EEOI.

7. Autoevaluación.

GLOSARIO

<u>Término</u>	<u>Definición</u>
SEEMP	Plan de Gestión de Eficiencia Energética del Buque.
GHG	Gases de efecto invernadero (<i>GreenHouse Gases</i>).
OMI	Organización Marítima Internacional.
MEPC	Comité de Protección Ambiental Marina.
SMS	Gestión del Sistema de Seguridad.
EEOI	Indicador Operacional de Eficiencia Energética.
ISM	Código de Gestión de Seguridad Internacional.
ECA	Área de Control de Emisiones.
TEU	Medida de capacidad inexacta del transporte marítimo expresada en contenedores.
EEM	Medidas de Eficiencia Energética.
MAERSK	Compañía naviera.

1. GENERAL

El objetivo principal de la elaboración del Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP), es establecer una serie de pautas y procedimientos para la compañía naviera *MAERSK* para mejorar la eficiencia energética de las operaciones del buque *Magleby Maersk*.

El *Magleby Maersk*, se encuentra en la lista de los mayores portacontenedores del mundo, con 400m de eslora y una capacidad de carga de 18270 TEU. Debido a sus dimensiones y al gran consumo de combustible necesario para operar, el SEEMP aporta unas Medidas de Eficiencia Energética (EEM) para reducir el consumo de combustible y, por lo tanto, las emisiones de GHG a la atmósfera (*Anexo I*).

La naviera MAERSK, opta por una política de transporte marítimo limpia, dónde sus buques puedan operar de la manera más eficiente posible cumpliendo con las medidas de seguridad adecuadas.

Actualmente, el aumento de la eficiencia energética sigue siendo la forma más barata para ahorrar energía. SEEMP sienta las bases para implementar procesos que optimicen los procesos operativos y mejoren la rentabilidad a través del uso eficiente de personas y activos. Es una guía de recursos para que todo el personal aumente la eficiencia energética en los sistemas de los buques y en los procesos operativos.

2. RECURSOS HUMANOS

A la hora de implementar medidas para mejorar la eficiencia energética del buque, el gerente del buque es el que tiene la máxima autoridad y la responsabilidad final de decidir sobre los procedimientos y equipos que utilizará el buque para mejorar dicha eficiencia. Al desempeñar funciones más administrativas, el gerente del buque delega la responsabilidad a los oficiales de navegación.

Para conseguir la implementación de EEM adecuada, la compañía distribuye las funciones a llevar a cabo entre el personal; la plantilla que administra la flota planifica las auditorías energéticas que serán analizadas y revisadas por el superintendente técnico, el gerente estudia las posibles medidas para cada buque de la flota y el ingeniero jefe supervisa la eficiencia energética y la documentación de los buques.

3. DOCUMENTACIÓN DEL SEEMP

Para la elaboración del SEEMP se ha utilizado el MEPC.1/Circ.683 proporcionado por la OMI. Los procedimientos operacionales y las recomendaciones utilizadas para el desarrollo del SEEMP se han obtenido a partir de los siguientes documentos:

- Orientación de la OMI para el desarrollo de un SEEMP; MEPC.1 / Circ.683.
- Directrices del MEPC para el uso voluntario de EEOI.

- Directrices para el cálculo del EEOI.
- Anexo VI del MARPOL, Capítulo IV.
- Estudio de la OMI sobre la operación eficiente de la embarcación.
- Capítulos desarrollados durante el propio Trabajo de Fin de Grado (TFG) cómo el Capítulo 6 “*Elaboración del SEEMP*”, Capítulo 7 “*EEOI*” y Capítulo 8 “*Medidas de eficiencia energética a bordo del buque*”.

4. PLANIFICACIÓN

La planificación es la etapa más importante para el desarrollo del SEEMP. Durante este proceso, se examina en qué nivel de eficiencia energética se encuentra el buque y qué medidas se pueden incorporar para optimizar su eficiencia energética.

Mediante el uso de revisiones o auditorías energéticas adicionales, se identifica y documenta un conjunto de Medidas de Eficiencia Energética (EEM) como parte de la fase de planificación. Las actividades de planificación de SEEMP no se detienen en la identificación de EEM, sino que incluyen el tratamiento de todos los aspectos de la planificación para la implementación, la supervisión y la autoevaluación de los EEM identificados.

4.1 MEDIDAS ESPECÍFICAS DEL BUQUE (ANEXO I)

Tal y como se ha comentado en el punto anterior, en la fase de planificación se deben identificar medidas específicas para que el buque mejore la eficiencia energética. En el *Anexo I* se enumeran las medidas operacionales atribuidas al *Magleby Maersk* proporcionando información sobre su impacto en el consumo de combustible y el posible ahorro económico que supone para la compañía MAERSK.

Las EEM propuestas, se han escogido teniendo en cuenta las características del buque *Magleby Maersk*. No todas las medidas se pueden aplicar en todo momento y deben aprobarse regularmente, al menos una vez al año , o en caso de cambio de fletador o zona comercial.

4.2 MEDIDAS ESPECÍFICAS DE LA COMPAÑÍA.

Para mejorar la eficiencia energética del buque, no solo se deben tener en cuenta las medidas específicas del buque. Para optimizar la eficiencia, la compañía puede desenvolver un papel importante en la reducción del consumo de combustible. Algunas de estas acciones se citan a continuación.

- Cooperación entre el operador de la terminal portuaria y el gerente del buque.
- Ajuste de velocidad entre el gerente y los fletadores.
- Actualización de la mejora del casco (por ejemplo la pintura)
- Involucrarse en las medidas de retroadaptación del motor.

4.3 FORMACIÓN DEL PERSONAL

Cada nuevo miembro tanto de la tripulación como de las oficinas, debe estar familiarizado con el sistema de eficiencia energética MAERSK. Según el rango, la responsabilidad y la autoridad, la familiarización es particularmente distinta. Para mantener la atención del personal sobre la eficiencia del buque, se debe llevar a cabo como mínimo una reunión semanal en la que participe toda la tripulación.

A cada uno de los miembros de la tripulación se les proporciona información para que puedan comprender las operaciones e interacciones específicas del buque con los equipos o sistemas que contribuyen en el ahorro de energía.

Para que la tripulación contribuya en el ahorro de energía, se les proporciona un listado con los principales consumidores a bordo y lo que se puede hacer para evitar un excesivo consumo de energía.

4.4 OBJETIVOS

Según el MEPC.1/Circ.683 el propósito de establecer objetivos en el SEEMP es aumentar el compromiso del personal de la compañía para mejorar la eficiencia energética.

El objetivo debe ser medible y fácil de entender, y se usará para evaluar si se cumplen los objetivos establecidos. A pesar de la dificultad para establecer objetivos a nivel del buque, es importante establecer algunos, ya que es la mejor forma de garantizar una mejora continua.

La compañía precisará las metas para cada barco por separado en intervalos que no excedan los 12 meses. La política y los objetivos de eficiencia energética de MAERSK solo pueden ser publicados por la dirección de la compañía.

5. IMPLEMENTACIÓN

El sistema de implementación de EEM se define a través del desarrollo de los procedimientos, las tareas y la asignación de roles y responsabilidades (*Anexo I*).

El mantenimiento de registros para las mediciones y el control para la autoevaluación se llevan a cabo mediante el sistema de formularios establecidos por el SEEMP. Si una medida identificada no puede implementarse por cualquier motivo, la (s) razón (es) también deben ser registradas.

6. SUPERVISIÓN Y CÁLCULO DEL EEOI

La supervisión de la eficiencia energética de los buques de MAERSK se controla mediante el EEOI. El EEOI es de carácter voluntario pero su cálculo proporciona información necesaria para reducir el consumo energético.

Para calcular el EEOI se utiliza el siguiente procedimiento:

1. Se define el período de tiempo por el cual se calcula el EEOI.
2. Se define la fuente de los datos recopilados para su cálculo.
3. Recopilan los datos.
4. Se convierten los datos en las unidades adecuadas para formalizar el cálculo del EEOI.
5. Se calcula el EEOI.

7. AUTOEVALUACIÓN

La autoevaluación se realiza en base a los sistemas de formularios SEEMP, ya citados anteriormente, que se completarán durante la operación del buque y serán revisados por el personal del buque y por el departamento de inspección de la compañía. Al menos una vez al año, la administración debe decidir qué tipos de medidas pueden funcionar o no, cómo y/o cuáles son las razones.

Una auditoría de energía a bordo es una encuesta independiente y una evaluación del consumo de energía y la eficiencia general de cada consumidor eléctrico principal.

Estas encuestas y evaluaciones son parte de una encuesta periódica realizada por el superintendente con enfoque de pérdida de energía, optimización de energía, medidas de energía y control de objetivos.

PLAN DE GESTIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL BUQUE (SEEMP)

Resolución MEPC.203 (62) - Enmiendas al Anexo del Protocolo de 1997 para corregir el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (incluyendo los reglamentos sobre la eficiencia energética de los buques en el Anexo VI del MARPOL), aprobada el 15 de julio de 2011.

ANEXO I: MEDIDAS ESPECÍFICAS DEL BUQUE

ÍNDICE

1. OPTIMIZACIÓN DEL TRIMADO.
2. GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE.
3. OPTIMIZACIÓN DEL CASCO Y DE LA HÉLICE.
4. GESTIÓN DE LA CARGA DE LOS MOTORES.
5. GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE.
6. GESTIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA CALDERA.
7. SISTEMA DE RUTA METEOROLÓGICA.
8. GESTIÓN DE LA ENERGÍA A BORDO.
9. GESTIÓN DE ENTRADA A PUERTO.
10. OTRAS MEDIDAS.
11. MEDIDAS APLICADAS.

Fecha	Revisión	Descripción de la revisión	Gestión de Flotas	Capitán	DPA
15/05/18	Primera revisión	Revisión por el Capitán y el Superintendente emitida para su aprobación	Preparada	Revisado	Aprobado

1. OPTIMIZACIÓN DEL TRIMADO.

La mayoría de los buques están diseñados para transportar una cierta cantidad de carga a una velocidad designada, consumiendo una cierta cantidad de combustible en una condición de trimado específica. El ajuste del trimado del buque tiene una influencia significativa en la resistencia del buque a través del agua. Optimizando el trimado, se puede obtener un potencial de reducción del 2% al 4% en el consumo de combustible.

Medidas

Para localizar el trimado óptimo del buque se utilizan los métodos de CFD. Mediante la herramienta CFD se obtiene la matriz de trimado, que relaciona la velocidad del buque con el calado ofreciendo de esta manera el trimado óptimo y el porcentaje de pérdidas de combustible. A la hora de aplicar dichos trimados y calados en el buque, se deben tener en cuenta otros factores como las condiciones meteorológicas, la distribución de carga en el buque o el agua de lastre.

Speed		14 – 15.9 knots						16 – 17.9 knots					
Trim (metres)		-2 – -1.51	-1.5 – -1.01	-1 – -0.51	-0.5 – -0.01	0.01 – 0.5	0.51 – 1	-2 – -1.51	-1.5 – -1.01	-1 – -0.51	-0.5 – -0.01	0.01 – 0.5	0.51 – 1
Draught (metres)	7.9 – 8.5	Avoid 6.4%	Fair 2.5%	Good 1.6%	Optimal 0.0%	Fair 2.2%	Avoid 8.5%	Avoid 4.5%	Fair 2.1%	Good 6.4%	Optimal 0.0%	Fair 3.2%	Avoid 7.2%
	7.2 – 7.85	Fair 2.0%	Good 0.6%	Optimal 0.0%	Good 0.3%	Good 0.9%	Fair 2.8%	Good 1.2%	Good 0.6%	Good 0.0%	Optimal 0.0%	Good 0.4%	Avoid 3.3%
	6.5 – 7.15	Good 0.6%	Good 0.2%	Optimal 0.0%	Good 0.6%	Fair 2.0%	Avoid 3.0%	Good 0.1%	Optimal 0.0%	Good 0.1%	Good 0.5%	2.0% Fair	Fair 2.8%

Tabla 9. Optimización general del trimado

Fuente: Lloyd's Register 2011

El *Magleby Maersk*, realiza sus trayectos a una velocidad de crucero de 16kn (30 km/h). Usando la tabla adjuntada a continuación (Lloyd's Register 2011) se puede obtener el trimado y el calado óptimo para la reducción de combustible.

Si al *Magleby Maersk* se le aplica alguno de los trimados óptimos representados en la tabla anterior, el buque registrará pérdidas de un 0% en combustible debido a la disminución de resistencia de avance del buque.

Actualmente el *Magleby Maersk* consume 100 toneladas de HFO al día. Para navegar desde China a Europa, el buque invierte tres semanas y media a una velocidad promedio de 16 nudos.

El <i>Magleby Maersk</i> consume 100 toneladas de HFO al día.	100T (HFO)/día
El <i>Magleby Maersk</i> tarda 24,5 días en realizar el trayecto China-Europa.	$24,5 \text{ días} \times 100\text{T(HFO)}/\text{día} =$ 2450T (HFO)/trayecto

AHORRO DE COMBUSTIBLE MEDIANTE OPTIMIZACIÓN DEL TRIMADO	
Caso 1 – Pérdidas de combustible del 7'5%	$2450\text{T (HFO)}/\text{trayecto} \times 0'075 =$ 183'75 T/trayecto
Caso 2 – Pérdidas de combustible del 6'4%	$2450\text{T (HFO)}/\text{trayecto} \times 0'064 =$ 158'6 T/trayecto
Caso 3 – Pérdidas de combustible del 4'5%	$2450\text{T (HFO)}/\text{trayecto} \times 0,045 =$ 110'25 T/trayecto
Caso 4 – Pérdidas de combustible del 3'3%	$2450\text{T (HFO)}/\text{trayecto} \times 0'033 =$ 80'85 T/trayecto
Caso 5 – Pérdidas de combustible del 1'2%	$2450\text{T (HFO)}/\text{trayecto} \times 0'012 =$ 29'4 T/trayecto
Caso 6 – Pérdidas de combustible del 0'6%	$2450\text{T (HFO)}/\text{trayecto} \times 0,006 =$ 14'7 T/trayecto
Caso 6 – Pérdidas de combustible del 0'4%	$2450\text{T (HFO)}/\text{trayecto} \times 0,004 =$ 9'8 T/trayecto
Caso 7 – Pérdidas de combustible del 0'1%	$2450\text{T (HFO)}/\text{trayecto} \times 0,001 =$ 2,45 T/trayecto

En el peor de los casos, con un trimado y un calado excesivo el *Magleby Maersk* puede llegar a consumir 183,75T(HFO)/trayecto de más, y en el mejor de los casos 2,45T(HFO)/trayecto. Mediante la optimización de trimado, estos incrementos del consumo de combustible serían prácticamente nulos lo que reduciría las emisiones de CO2 y supondría un ahorro económico para MAERSK.

Precio de HFO más elevado (2017-2018)	475,5 \$/T
Precio del HFO medio (2017-2018)	380,5 \$/T
Precio del HFO bajo (2017-2018)	298 \$/T

AHORRO ECONÓMICO DE LA COMPAÑÍA	
Caso 1 – Pérdidas de combustible del 7'5%	$183'75 \text{ T/trayecto} * 475'5 \text{ $/T} =$ 87.373'12 \$/trayecto $183'75 \text{ T/trayecto} * 380'5 \text{ $/T} =$ 69.916'88 \$/trayecto $183'75 \text{ T/trayecto} * 298 \text{ $/T} =$ 54.757'5 \$/trayecto
Caso 7 – Pérdidas de combustible del 0'1%	$2'45 \text{ T/trayecto} * 475,5 \text{ $/T} =$ 1.165 \$/trayecto $2'45 \text{ T/trayecto} * 380'5 \text{ $/T} =$ 932'23 \$/trayecto $2'45 \text{ T/trayecto} * 298 \text{ $/T} =$ 730'1 \$/trayecto

EMISIONES DE CO2 AHORRADAS	
Caso 1 – Pérdidas de combustible del 7'5%	$183'75 \text{ T(HFO)/trayecto} * 3'114 \text{ T (CO2)/T (HFO)} =$ 572'2 T(CO2)/trayecto
Caso 7 – Pérdidas de combustible del 0'1%	$2'45 \text{ T(HFO)/trayecto} * 3'114 \text{ T (CO2)/T (HFO)} =$ 7'63 T(CO2)/trayecto

2. GESTIÓN DEL AGUA DE LASTRE.

El agua de lastre (BW) es esencial para controlar el trimado, el calado, la estabilidad y las presiones del buque. El agua de lastre afecta directamente el desplazamiento del buque la cual cosa supone variaciones en las superficies mojadas y en la resistencia del buque (calado y trimado). Por lo tanto, cuanto más agua de lastre transporte el buque, mayor será el desplazamiento del

buque y se espera un mayor consumo de energía. Según los datos aportados por la OMI, la optimización de la gestión del agua de lastre puede suponer hasta un 4% de ahorro en combustible.

AHORRO ECONÓMICO DE LA COMPAÑÍA	
Consumo por trayecto del <i>Magleby Maersk</i> .	2450 T(HFO)/trayecto
Ahorro del 4% de combustible	$2450 \text{ T(HFO)/trayecto} \times 0.04 =$ 98 T(HFO)/trayecto
Ahorro económico	$98 \text{ T/trayecto} \times 475.5 \text{ \$/T} =$ 46.599 \\$/trayecto $98 \text{ T/trayecto} \times 380.5 \text{ \$/T} =$ 37.289 \\$/trayecto $98 \text{ T/trayecto} \times 298 \text{ \$/T} =$ 29.204 \\$/trayecto

EMISIONES DE CO2 AHORRADAS	
Toneladas de CO2 ahorradas por trayecto.	$98 \text{ T(HFO)/trayecto} \times 3.114 \text{ T(CO2)/T(HFO)} =$ 305.17 T(CO2)/trayecto

Medidas

- Llevar menos agua de lastre: menos agua de lastre significa menor desplazamiento y menores resistencias.
- Optimización del uso del equipo de lastre: Llevar a cabo un método correcto de carga y descarga de lastre.
- Utilizar métodos de carga y descarga de lastre mediante la gravedad: de esta manera se reduce el uso de bombas que consumen energía.
- Utilizar el método secuencial de lastre: para reducir el tiempo de funcionamiento de las bombas.
- Utilizar el agua de lastre para ajustar el trimado del buque: Optimizar el trimado mediante el agua de lastre supone un ahorro de energía considerable.

- Evitar el uso de bombas de lastre por vapor: el uso de la caldera para el funcionamiento de las bombas de lastre por vapor es totalmente ineficiente.
- Eliminar los sedimentos: Los sedimentos acumulados en el agua de lastre aumentan considerablemente el peso del buque lo cual causa un mayor consumo de combustible.

3. OPTIMIZACIÓN DEL CASCO Y DE LA HÉLICE.

Si se mantiene la superficie del casco limpia, la resistencia del buque es menor y por lo tanto se ahorra combustible y se desprende una menor cantidad de CO₂. En cambio, si el casco se encuentra sucio (con rugosidad) se reducirá la suavidad del casco e incluso se puede agregar peso al buque reduciendo la capacidad de carga del mismo.

Medidas

- Aplicar un buen recubrimiento de alta calidad puede producir una reducción promedio de hasta 4% en el consumo de combustible de propulsión.

Consumo por trayecto del <i>Magleby Maersk</i> .	2450T (HFO)/trayecto
Ahorro del 4% de combustible	$2450T (HFO)/trayecto * 0.04 =$ 98 T/trayecto

- Convertir un casco ya áspero en uno más liso y aplicar un revestimiento avanzado incluso puede proporcionar un 10-12% de disminución en el costo del combustible.

Consumo por trayecto del <i>Magleby Maersk</i> .	2450T (HFO)/trayecto
Ahorro del 11% de combustible	$2450T (HFO)/trayecto * 0.11 =$ 269.5 T/trayecto

- Limpiar un limo ligero puede producir hasta un 7-9% de reducción en el consumo de combustible de propulsión. Limpiar un limo pesado podría dar un 15-18% de reducción en el consumo de combustible.

Consumo por trayecto del <i>Magleby Maersk</i> .	2450T (HFO)/trayecto
Ahorro del 8% de combustible	2450T (HFO)/trayecto * 0'08 = 196 T/trayecto
Ahorro del 16,5% de combustible	2450T (HFO)/trayecto * 0'165 = 404'25 T/trayecto

- Utilizar ánodos para evitar corrosión en los cascos.
- Pulir una superficie rugosas de la hélice puede dar como resultado una disminución en el consumo de combustible de hasta 3%. La limpieza y el pulido de la hélice de forma general pueden generar hasta un 6% de mejora en el consumo de combustible.

Consumo por trayecto del <i>Magleby Maersk</i> .	2450T (HFO)/trayecto
Ahorro del 3% de combustible	2450T (HFO)/trayecto * 0'03 = 73'5 T/trayecto
Ahorro del 6% de combustible	2450T (HFO)/trayecto * 0'06 = 147 T/trayecto

AHORRO ECONÓMICO DE LA COMPAÑÍA

Cantidad de combustible ahorrado	1188,25 T(HFO)/trayecto
Ahorro	1188,25 T(HFO)/trayecto * 475'5 \$/T = 565.012'87 \$/trayecto 1188,25 T(HFO)/trayecto * 380'5 \$/T = 452.129'12 \$/trayecto 1188,25 T(HFO)/trayecto * 298 \$/T = 354.098'5 \$/trayecto

EMISIONES DE CO2 AHORRADAS

Toneladas de CO2 ahorradas por trayecto.	1188,25 T(HFO)/trayecto * 3'114 T(CO2)/T(HFO) = 3.700'21 T(CO2)/trayecto
--	--

4. GESTIÓN DE LA CARGA DE LOS MOTORES.

El rendimiento del motor principal y de los generadores se mantienen precisos gracias al Sistema de Gestión de Energía del Buque (PMS). Llevar a cabo una supervisión permanente del sistema es fundamental para el ahorro de combustible.

Medidas

- Evitar que los generadores-diesel (DG) operen por largo períodos a menos del 50% del factor de carga.
- Evitar el uso innecesario de energía mediante el apagado de la maquinaria cuando no sea necesario.
- Evitar el funcionamiento en paralelo de generadores eléctricos.
- Operación optimizada de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) a bordo.

5. GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE.

La calidad del combustible tiene un impacto significativo en la confiabilidad y el rendimiento de los motores y calderas. A la hora de comprar un combustible, se deben considerar las cualidades de este en términos de grado de combustible, su especificación, valor calorífico e idoneidad para motores y calderas.

La calidad del combustible tiene un impacto significativo en la confiabilidad y el rendimiento de los motores y calderas. A la hora de comprar un combustible, se deben considerar las cualidades de este en términos de grado de combustible, su especificación, valor calorífico e idoneidad para motores y calderas.

Medidas

- Los buques deben llevar la cantidad idónea de abastecimiento de combustible.
- La temperatura del combustible en los tanques de almacenamiento debe controlarse y solo se debe calentar el combustible a transferir.

- Controlar la temperatura del combustible en los tanques de almacenamiento.
- Evitar la corrosión en las paredes del tanque de combustible.
- Mantener los tanques de sedimentación a una temperatura que permita que los sistemas de purificación de combustible alcancen la temperatura de tratamiento requerida.
- Evitar transportar combustible que tenga más de unos meses de antigüedad.
- Evitar combustibles incompatibles ya que pueden provocar obstrucciones en filtros o parada de motor.
- Los combustibles deben ofrecer unas características limitadas por la ISO 8217.

6. GESTIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA CALDERA.

Se puede lograr una conservación significativa del combustible al minimizar el consumo total de vapor a bordo. La caldera debe usarse para la demanda esperada. Además, el operador debe asegurarse de que no se inicien con demasiada antelación desde el momento en que se necesitan.

También se debe revistar el estado de tuberías y válvulas para así poder minimizar las pérdidas térmicas.

Medidas

- Evitar la suciedad en los tubos de la caldera y en las superficies de transferencia.
- Evitar el exceso de aire de combustión.
- Implementar economizadores de gas de escape.
- Buena gestión de carga de la caldera.
- Evitar encender las calderas auxiliares demasiado antes del uso previsto.
- Verificar el analizador de O₂ y el sistema de tuberías antes de cada operación.

7. SISTEMA DE RUTA METEOROLÓGICA.

Los barcos que usan este sistema han demostrado tener un mayor potencial para ahorrar eficiencia en rutas específicas. Esto le permitirá a MAERSK planificar rutas, cuando sea posible, para aprovechar el clima favorable y evitar condiciones meteorológicas adversas para obtener el mejor rendimiento en velocidad o consumo de combustible.

Si el sistema de ruta meteorológica está instalado, permite que el barco tome decisiones estratégicas y económicamente sólidas en la etapa de planificación del viaje. Además, el sistema también permite al barco actualizar el pronóstico durante el viaje, hacer ajustes si es necesario y revisar los datos recopilados después del viaje.

8. GESTIÓN DE LA ENERGÍA A BORDO.

La generación y consumo de energía a bordo representa una oportunidad para ahorrar combustible y minimizar las horas de funcionamiento en los generadores de energía.

Medidas

- Minimizar el uso de maquinaria innecesaria como puede ser la cubierta hidráulica, las bombas contra incendios, el ventilador de la sala de máquinas, entre otros.
- Antes de embarcar, llevar a cabo una reunión con la tripulación para concienciar el uso eficiente de la maquinaria del buque.
- Maximizar la carga del DG (Generador Diesel) cuando sea posible para así utilizar solamente un generador.
- Apagar las luces en espacios no utilizados.
- Intentar minimizar el uso de la lavadora y el secador.
- Eliminar ventanas del buque por las que se producen pérdidas de calor/frío (según la temporada) para que el aire acondicionado funcione de manera más eficiente.

9. GESTIÓN DE ENTRADA A PUERTO.

La congestión del puerto tiene dos impactos sobre las emisiones de CO₂ y el uso de combustible.

Medidas

- Mientras el buque espera para entrar en un puerto que está congestionado, debe mantener los motores auxiliares en funcionamiento para proporcionar energía necesaria para calentar o enfriar la carga / combustible.
- Navegar a una velocidad reducida de trayecto si se informa con antelación sobre la congestión del puerto.
- Una vez en puerto se debe usar la corriente de tierra.

10. OTRAS MEDIDAS.

Mewis Doct

El Mewis Doct es un dispositivo diseñado para ir instalado delante de la hélice. El Mewis Doct dispone de dos aletas en su estructura que pueden generar un pre-remolino en la dirección contraria al vórtice del eje, reduciendo las pérdidas de flujo de rotación de la hélice.

La forma en que mejora la eficiencia de la hélice es a través de un mejor flujo aerodinámico y dirigido en la hélice. Mediante la implementación del Mewis Doct al buque, se puede llegar a conseguir un nivel de ahorro de hasta un 8%.

Consumo por trayecto del <i>Magleby Maersk</i> .	2450T (HFO)/trayecto
Ahorro del 8% de combustible	$2450\text{T (HFO)/trayecto} * 0'08 =$ 196 T/trayecto
Ahorro económico	$196\text{ T(HFO)/trayecto} * 475'5\text{ \$/T} =$ 93.198 \\$/trayecto $196\text{ T(HFO)/trayecto} * 380'5\text{ \$/T} =$ 74.578 \\$/trayecto $196\text{ T(HFO)/trayecto} * 298\text{ \$/T} =$ 58.408 \\$/trayecto

EMISIONES DE CO2 AHORRADAS	
Toneladas de CO2 ahorradas por trayecto.	$196 \text{ T(HFO)/trayecto} * 3'114 \text{ T(CO2)/T(HFO)} =$ 610'35 T(CO2)/trayecto

Propeller Boss Cap Fin (PBCF)

EL PBCF consiste en pequeñas aletas unidas a la tapa de la hélice mediante las cuales se eliminan o reducen los vórtices concentrados generados por el giro de la hélice. Además, el PBCF aumenta la eficiencia propulsora en aproximadamente un 5% y la eficiencia del combustible del barco en aproximadamente un 2%.

Consumo por trayecto del <i>Magleby Maersk</i> .	2450T (HFO)/trayecto
Ahorro del 8% de combustible	$2450 \text{ T (HFO)/trayecto} * 0'02 =$ 49 T/trayecto
Ahorro económico	$49 \text{ T(HFO)/trayecto} * 475'5 \text{ \$/T} =$ 23.300 \\$/trayecto $49 \text{ T(HFO)/trayecto} * 380'5 \text{ \$/T} =$ 18.644'5 \\$/trayecto $49 \text{ T(HFO)/trayecto} * 298 \text{ \$/T} =$ 14.602 \\$/trayecto

EMISIONES DE CO2 AHORRADAS	
Toneladas de CO2 ahorradas por trayecto.	$49 \text{ T(HFO)/trayecto} * 3'114 \text{ T(CO2)/T(HFO)} =$ 152'6 T(CO2)/trayecto

11. MEDIDAS APLICADAS.

Nombre:	<i>Magleby Maersk</i>	GT:	194849 GT
Tipo de buque:	Triple-E	Capacidad:	18270 TEU

Fecha de desarrollo:	15/05/2018	Desarrollado por:	Xavier Bauza Sosa
Periodo de implementación:	Del 10/06/2018 al 10/06/2019	Implementado por:	MAERSK
Fecha estimada de la próxima evaluación:	10/01/2019		

Medidas	Descripción / Implementación (a partir del 10/06/18)	Responsable
Sistema de ruta meteorológica	Contratado con <i>Segelwelt</i> para que utilicen su sistema de rutas meteorológicas y comiencen a usar el sistema de prueba.	El capitán es el responsable de seleccionar la ruta óptima en función de la información provista por <i>Segelwelt</i>
Control de velocidad	Se deberá viajar a una velocidad de 16kn para conseguir un trimado óptimo.	El capitán es el responsable de mantener la velocidad establecida. Se anotará en el libro de registro
Optimización del trimado	Se deberá mantener un trimado de (-0,5) – (-0,1) en función del calado, para un ahorro de combustible óptimo.	El capitán es el responsable de controlar el trimado del buque.
Agua de lastre	Utilizar el método secuencial de lastre para reducir el tiempo de funcionamiento de las bombas.	El capital es el responsable de controlar la descarga y carga eficiente de agua de lastre
	Llevar menos agua de lastre para evitar aumentar el peso del buque.	

	Analizar al agua de lastre para poder controlar el trimado óptimo del buque.	
Optimización del casco y de la hélice.	Llevar a cabo una supervisión regular del casco y de la hélice.	El propietario del buque es el encargado de contratar a la empresa de limpieza y recubrimiento del casco y de la hélice.
	Aplicar recubrimientos de calidad.	
	Alisar las superficies rugosas del casco.	
	Eliminar limo u otras sustancias del casco.	
Gestión de carga del motor	Evitar que los generadores-diese (DG) operen por largo períodos a menos del 50% del factor de carga.	Las tareas deben ser controladas por el capitán y jefe de máquinas del buque.
	Evitar el uso innecesario de energía mediante el apagado de la maquinaria cuando no sea necesario.	
Gestión de combustible.	Los buques deben llevar la cantidad idónea de abastecimiento de combustible.	La cantidad de combustible y su calidad debe ser revisada por el capitán.
	La temperatura del combustible en los tanques de almacenamiento debe controlarse y solo se debe calentar el combustible a transferir.	
Gestión del rendimiento de la caldera	Evitar encender las calderas auxiliares demasiado antes del uso previsto.	El capitán del buque.
	Evitar la suciedad en los tubos de la caldera y en las superficies de transferencia.	Jefe de máquinas.

Gestión de la energía a bordo	<p>Apagar las luces en espacios no utilizados.</p> <p>Intentar minimizar el uso de la lavadora y el secador.</p>	Tripulación.
Gestión de la entrada a puerto.	Mantener los motores auxiliares en funcionamiento para proporcionar energía necesaria para calentar o enfriar la carga / combustible.	Capitán del buque.
	Una vez en puerto se debe usar la corriente de tierra.	

PLAN DE GESTIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL BUQUE (SEEMP)

Resolución MEPC.203 (62) - Enmiendas al Anexo del Protocolo de 1997 para corregir el Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 (incluyendo los reglamentos sobre la eficiencia energética de los buques en el Anexo VI del MARPOL), aprobada el 15 de julio de 2011.

ANEXO II: CÁLCULO DEL EEOI

ÍNDICE

1. GENERAL.

2. FÓRMULA.

3. EFECTO DEL LASTRE

4. CÁLCULOS.

4.1 DATOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO.

4.2 CÁLCULO DEL EEOI SIN TENER EN CUENTA EL LASTRE.

4.3 CÁLCULO DEL EEOI TENIENDO EN CUENTA EL LASTRE.

Fecha	Revisión	Descripción de la revisión	Gestión de Flotas	Capitán	DPA
15/05/18	Primera revisión	Revisión por el Capitán y el Superintendente emitida para su aprobación	Preparada	Revisado	Aprobado

1. GENERAL.

Para poder calcular el EEOI, se deben seguir los siguientes pasos:

- Definir el período para el cual se calcula el EEOI.
- Definir las fuentes de datos para la recopilación de datos.
- Recopilar los datos necesarios para el cálculo.
- Convertir los datos en las unidades apropiadas.
- Calcular el EEOI.

Para llevar a cabo un buen cálculo del EEOI, la recopilación de datos de los buques debe incluir la distancia recorrida, la cantidad y el tipo de combustible utilizado.

2. FÓRMULA.

Cálculo del EEOI:

$$EEOI = \frac{FC_j \cdot C_{Fj}}{m_{carg o} \cdot D}$$

Este es la expresión general del EEOI para un solo viaje. En cambio, para obtener el promedio del indicador de un período o de varios viajes, el EEOI se calcula de la siguiente manera:

$$AverageEEOI = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \cdot C_{Fj})}{\sum_i (m_{carg o,i} \cdot D)}$$

Donde:

- “j” es el tipo de combustible.
- “i” es el número de viaje.
- “FC_{ij}” es la masa de combustible consumido “j” en el viaje “i”.
- “C_{Fj}” es la masa de combustible para el factor de conversión de masa de CO₂ para el combustible “j”.

- “ m_{carga} ” es carga transportada (toneladas) o trabajo realizado (número de TEU o pasajeros) o toneladas brutas para buques de pasaje.
- “D” es la distancia en millas náuticas correspondiente a la carga transportada o al trabajo realizado.

3. EFECTO DEL LASTRE.

El lastre de un buque puede tenerse en cuenta durante los cálculos EEOI de la siguiente manera:

- Aplicando el desplazamiento de lastre en la fórmula del EEOI, que puede ser difícil de incluir en algunos casos.
- Considerando el peso de lastre como una parte integral de un viaje de carga.

Sobre la base de estos supuestos, se realizan dos cálculos. El primer cálculo se lleva a cabo sin considerar el lastre y el segundo cálculo se lleva a cabo suponiendo que el peso de lastre es una parte del peso total de carga.

4. CÁLCULOS.

4.1 DATOS BÁSICOS PARA EL CÁLCULO.

CF es un factor de conversión no dimensional entre el consumo de combustible y las emisiones de CO₂ producidas. El valor del CF varía según las directrices de la OMI. Este factor de conversión es imprescindible para el cálculo del EEOI y variará en función del tipo de combustible que utilice el buque. El *Magleby Maersk* utiliza el Heavy Fuel Oil (HFO) como combustible.

Type of fuel	Reference	Carbon content	C _F (t-CO ₂ /t-Fuel)
Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	0.875	3.206000
Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.86	3.151040
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.85	3.114400
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	0.819	3.000000
	Butane	0.827	3.030000
Liquefied Natural Gas (LNG)		0.75	2.750000

Tabla 10. CF según el tipo de combustible.

Fuente: MEPC.1/Circ.684

4.2 CÁLCULO DEL EEOI SIN TENER EN CUENTA EL LASTRE

Viaje	Consumo de combustible	Datos del viaje	
	Heavy Fuel Oil (HFO)	Carga (TEU)	Distancia (millas)
1	2450 T	18270 TEU	13000 mn
2	2450 T	0 TEU	13000mn

$$\begin{aligned} \text{EEOI} &= (4900 \cdot 3'114) / (0 \cdot 13000) + (18270 \cdot 13000) = \\ &= 6'48 \cdot 10^{-5} \text{ T}(\text{CO}_2)/(\text{TEU} \cdot \text{mn}) \end{aligned}$$

4.3 CÁLCULO DEL EEOI TENIENDO EN CUENTA EL LASTRE

Viaje	Consumo de combustible	Datos del viaje	
	Heavy Fuel Oil (HFO)	Carga (TEU)	Distancia (millas)
1	2450 T	18270 TEU	13000 mn
2	2450 T	0 TEU	13000mn

$$\begin{aligned} \text{EEOI} &= 4900 \cdot 3,114 / (18270+0) \cdot (13000+13000) = \\ &= 3,243 \cdot 10^{-5} \text{ T}(\text{CO}_2)/(\text{TEU} \cdot \text{mn}) \end{aligned}$$

10. COSTE DE REALIZACIÓN DEL SEEMP.

Fases	Descripción	Horas invertidas
Análisis de la temática.	Entrar en contacto con la temática escogida, visualizando el contenido de forma general .	40h
Recopilación de información.	Analizar y guardar toda la información útil para llevar a cabo el trabajo de fin de grado.	100h
Desarrollo del <i>índice</i> provisional.	Desarrollar un primer índice provisional del trabajo mediante la revisión de la información útil recopilada anteriormente.	23h
Modificación del <i>índice</i>	Según se ha ido avanzando el trabajo, muchos de los capítulos del índice provisional se han modificado lo que ha supuesto una inversión de tiempo en recopilar otra información referente a los nuevos capítulos incluidos en el trabajo.	19h
Conformación del <i>índice</i>	Una vez terminado el trabajo de fin de grado se ha creado un índice con hipervínculo para obtener una mayor comodidad a la hora de buscar o acceder a capítulos concretos debido ala extensión del trabajo.	21h
Elaboración de la primera parte del trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> Descripción del estado del arte, del marco normativo de referencia. 	82h
	<ul style="list-style-type: none"> Descripción de las herramientas de revisión proporcionadas por la OMI (EEDI, EEOI, SEEMP). 	63h
	<ul style="list-style-type: none"> Descripción de las medidas de reducción de combustible 	95h
Elaboración de la segunda parte del trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> Escoger el buque al cual implementar el SEEMP y recopilar información sobre este. 	17h
	<ul style="list-style-type: none"> Elaboración de la primera parte del SEEMP del Magleby Maesrk. 	44h

	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración del Anexo I • Elaboración del Anexo II 	102h 87h
Elaboración de la tercera parte del trabajo.	Análisis de coste del desarrollo de un SEEMP.	23h
Introducción, abstract, conclusión y bibliografía.	Elaboración de la introducción, abstract, conclusión y bibliografía del trabajo.	78h
Confección de listado de tablas y figuras.	Desarrollo del listado de tablas y figuras con hipervínculo.	18h
TOTAL	812h	

COSTE DE ELABORACIÓN	
Suponiendo un coste medio de consultoría de 25€/h	25€/h * 812h de trabajo = 20.300€

11. CONCLUSIÓN.

En el presente Trabajo de Fin de Grado, se ha realizado un estudio de las normativas actuales de Eficiencia Energética en el sector marítimo. Las normativas de eficiencia energética implementadas por la OMI y la UE son unas pautas a tener en cuenta. La aplicación de las normativas ayudan a la mejora continua y al desarrollo tecnológico.

Igualmente son de gran importancia las mejoras propuestas del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC) para Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP), que podemos resumir en tres puntos fundamentales: **el uso de combustible, el uso del buque y el diseño del buque.**

Entre las distintas mejoras en el uso del combustible, podemos destacar las siguientes: optimización de la velocidad, optimización de la potencia, planeamiento de las rutas de navegación y la previsión meteorológica.

En cuanto al uso del buque, considerar los siguientes apartados: trimado óptimo, lastrado óptimo, uso óptimo del timón y sistemas automáticos de gobierno, mantenimiento del casco, organización de la flota y el manejo de la carga medida.

Respecto al diseño, cabe destacar las siguientes medidas: hélice óptima y consideraciones del flujo de entrada en la hélice, diseño del bulbo o inclusión de un segundo bulbo, elección del sistema de propulsión óptimo para el buque, dinamo de cola (Instalación de un generador movido por el motor de propulsión para producir energía eléctrica).

Se ha expuesto la utilidad del EEDI como índice a tener en cuenta en la construcción de buques futuros para un mejor estudio de la eficiencia energética del buque y sus posibilidades de mejora.

La ejecución de un plan de gestión de la eficiencia energética (SEEMP) supone mejoras en el ámbito energético-económico, así como la búsqueda de la mejora continua en eficiencia energética en los buques.

Para la mayor efectividad del seguimiento del plan, es necesaria una herramienta que permita cuantificar la mejora de la EE en los buques para que cumplan sus objetivos.

En el presente trabajo se ha realizado una propuesta de uso de la calculadora de EEOI .

La incorporación de avances de ingeniería en el diseño de buques de nueva construcción y la mejora de los buques ya existentes es clave para la reducción del consumo de combustibles.

A partir de la aplicación del SEEMP en el buque *Magleby Maersk*, se ha podido observar la eficacia de la implementación de dicho sistema. La disponibilidad del SEEMP en este buque supone unos grandes ahorros para compañía, que a su vez se traducen en menores emisiones de CO₂ a la atmósfera, cumpliendo de esta manera las directrices impuestas por la OMI.

Medidas	Ahorro económico	Ahorro en emisiones de CO ₂
Optimización del trimado	$183'75 \text{ T/trayecto} * 475'5 \text{ \$/T} =$ 87.373'12 \\$/trayecto $183'75 \text{ T/trayecto} * 380'5 \text{ \$/T} =$ 69.916'88 \\$/trayecto $183'75 \text{ T/trayecto} * 298 \text{ \$/T} =$ 54.757'5 \\$/trayecto	572'2 T(CO₂)/trayecto
Gestión agua de lastre	$98 \text{ T/trayecto} * 475'5 \text{ \$/T} =$ 46.599 \\$/trayecto $98 \text{ T/trayecto} * 380'5 \text{ \$/T} =$ 37.289 \\$/trayecto $98 \text{ T/trayecto} * 298 \text{ \$/T} =$ 29.204 \\$/trayecto	305'17 T(CO₂)/trayecto
Optimización del casco y de la hélice	$1188,25 \text{ T/trayecto} * 475'5 \text{ \$/T} =$ 565.012'87 \\$/trayecto $1188,25 \text{ T/trayecto} * 380'5 \text{ \$/T} =$ 452.129'12 \\$/trayecto	3.700'21 T(CO₂)/trayecto

	$1188,25 \text{ T/trayecto} * 298 \text{ \$/T} =$ 354.098'5 \\$/trayecto	
Mewis Doct	$196 \text{ T(HFO)/trayecto} * 475'5 \text{ \$/T} =$ 93.198 \\$/trayecto $196 \text{ T(HFO)/trayecto} * 380'5 \text{ \$/T} =$ 74.578 \\$/trayecto $196 \text{ T(HFO)/trayecto} * 298 \text{ \$/T} =$ 58.408 \\$/trayecto	610'35 T(CO2)/trayecto
PBCF	$49 \text{ T(HFO)/trayecto} * 475'5 \text{ \$/T} =$ 23.300 \\$/trayecto $49 \text{ T(HFO)/trayecto} * 380'5 \text{ \$/T} =$ 18.644'5 \\$/trayecto $49 \text{ T(HFO)/trayecto} * 298 \text{ \$/T} =$ 14.602 \\$/trayecto	152'6 T(CO2)/trayecto

12. BIBLIOGRAFÍA

1. EncacheDaly, A. and P. Zannetti. (2007). An Introduction to Air Pollution – Definitions, Classifications, and History. Chapter 1 of AMBIENT AIR POLLUTION). Published by The Arab School for Science and Technology (ASST).
2. Gaffney Jeffrey S. & Marley Nancy A. (2009), The impacts of combustion emissions on air quality and climate – From coal to biofuels and beyond, Atmospheric Environment 43 (1) p. 23- 36.
3. IPCC, 2007b: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
4. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007a). IPCC Fourth Assessment Report (AR4), Contribution of Working Group I.
5. UNEP/UNFCCC (2002), Edited by Michael Williams. Climate Change information kit. Geneva.
6. UNFCCC (2006). United Nations Framework Convention on Climate Change: Handbook. Bonn, Germany: Climate Change Secretariat.
7. IMO (2009); Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K.. Second IMO GHG Study 2009. London, UK.

8. IMO Third GHG Study 2014, a partir de la página web de la OMI adjuntada a continuación:

<http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Relevant-links-to-Third-IMO-GHG-Study-2014.aspx> (Febrero 2018)

9. International Maritime Organization (IMO), "Report of the marine environment protection committee (MEPC) on its sixty-second session, 203 (62), ANNEX 19." *MEPC*, vol. 62, pp. 24-26 2011.

10. Diario Oficial de la Unión Europea. 2015/757, Reglamento (UE) 2015/757 del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2015 relativo al seguimiento, notificación y verificación de las emisiones de dióxido de carbono generadas por el transporte marítimo. (19/05/2015).

11. International Maritime Organization (IMO). (1983). *Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL)* [Online]. Disponible: [http://www.imo.org/es/about/conventions/listofconventions/paginas/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-\(marpol\).aspx](http://www.imo.org/es/about/conventions/listofconventions/paginas/international-convention-for-the-prevention-of-pollution-from-ships-(marpol).aspx). (Febrero 2018)

12. International Maritime Organization (IMO). (2011). *MEPC 70/18. Amendments to the annex of the protocol of 1997 to amend the International convention for the prevention of pollution from Ships, 1973, as modified by the protocol of 1978 relating thereto (Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI)* [Online].

Disponible:[http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/278\(70\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/278(70).pdf). (Febrero 2018)

13. Marine Environment Protection Committee, "Guidelines for voluntary use of the ship energy efficiency operational indicator (EEOI)," *International Maritime Organization, Report* 2009. Resolution MEPC.203(62) "Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978" relating thereto (Inclusion of regulations on energy efficiency for ships in MARPOL Annex VI), IMO MEPC.

14. Resolution MEPC.212(63): “2012 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained EEDI for new ships”.

15. Resolution MEPC.213(63), “2012 Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan (SEEMP)” IMO MEPC.

16. Resolution MEPC.214(63): “2012 Guidelines on Survey and Certification of the EEDI”, IMO MEPC.

17. Resolution MEPC.231(65): 2013 Guidelines for calculation of reference lines for use with the energy efficiency design index (EEDI).

18. Resolution MEPC.232(65): 2013 Interim Guidelines for determining minimum propulsion power to maintain the manoeuvrability.

19. ABS “Ship Energy Efficiency Measures, Status and Guidance”,
<http://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/publications/2013/Energy%20Efficiency.pdf>, (Marzo 2018)

20. IMO MARPOL Annex VI, 2013, “MARPOL Annex VI and NTC 2008 with Guidelines for Implementation, 2013 Edition, IMO.

21. Resolution MEPC.229(65), “Promotion of Technical Co-Operation and Transfer of Technology Relating to the Improvement of Energy Efficiency of Ships”.

22. MEPC.1/Circ.795.rev1 Unified Interpretations to MARPOL Annex VI (2014).

23. Resolution MEPC.254(67): 2014 Guidelines on Survey and Certification of EEDI (one amendments made in MEPC 68).

24. Resolution MEPC.245(65): 2014 Guidelines on the method of calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for new ships.

25. Resolution MEPC.245(66): 2014 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained EEDI for new ships.
26. Industry Guidelines (2015): 2015 Industry guidelines on calculation and verification of Energy Efficiency Design Index, MEPC 68 / INF.30.
27. OCIMF “Example of a Ship Energy Efficiency Management Plan”, Submission to IMO, MEPC 62/INF.10.
28. Resolution MEPC.259(68), 2015 Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems.
29. Determining Minimum Propulsion Power to Maintain the Manoeuvrability of Ships in Adverse Conditions”, (Resolution MEPC.232(65), as amended by Resolution MEPC.255(67)).
30. FathomShipping 2012, “Propeller Technology to Make Your Ship More Efficient”, Article in <http://gcaptain.com/propeller-technology-ship-efficient/>.
31. Ajoy Chatterjee 2012 “Technical energy efficiency measures for ships”, lecture notes prepared for IMO, June 2012.
32. SPAA, “The ideal flow will save energy” <http://www.sspa.se/ship-design-and-hydrodynamics>.
33. Scheneekluth, “Schneekluth Wake Equalizing Duct”, <http://www.schneekluth.com/en>. (Abril 2018)
34. Jonathan Wichmann, “The nose job: Why 10 of our ships are getting a new bulbous bow”, <http://maersklinesocial.com/nose-job>. (Abril 2018)
35. Soumya Chakraborty, “What’s The Importance Of Bulbous Bow Of Ships?”, <http://www.marineinsight.com/marine/marine-news/headline/why-do-ships-have-bulbousbow>. (Abril 2018)